

Provincia di Bologna



Comune di San Lazzaro di Savena



RELAZIONE GEOLOGICA
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
- II livello di approfondimento -
(ai sensi del D.M.14-01-08)



Proprietà: FINDA Srl, Via Rubbiani 6/2, 40124 Bologna
Committente: FINDA Srl, Via Rubbiani 6/2, 40124 Bologna
Località: via Palazzetti, San Lazzaro di Savena (BO)
Progetto: Piano Urbanistico Attuativo (PUA), Comparto ASP.C.r.

Sasso Marconi (BO), maggio 2014



INDICE GENERALE

- PREMESSA.....3
- RELAZIONE GEOLOGICA.....5
- RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA – II livello di approfondimento.....76
- CONCLUSIONI123

PREMESSA

Nel mese di marzo 2014 la Finda Srl (BO), ha incaricato lo scrivente di eseguire delle indagini geologiche e sismiche in sito e prove di laboratorio geotecnico allo scopo di redigere la Relazione Geologica e la Relazione sulla modellazione ai sensi del D.M. 14-01-08 per la caratterizzazione preliminare del sottosuolo di un terreno di sua proprietà da sottoporre a Piano Urbanistico Attuativo (di seguito P.U.A.) ed ubicato in via Palazzetti, nella zona industriale di San Lazzaro di Savena (BO).

Le Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del Piano Operativo Comunale (P.O.C.) variante 1-2012, adottato con D.C.C. n.46 del 19/07/2012 ed approvato con Approvazione D.C.C. n.21 del 28/05/2013, riportano che *"La finalità del P.O.C., formato ai sensi della L.R. n.20/2000 così come modificata e integrata dalla L.R. 06/2009, è quella di definire, sulla base degli obiettivi prestazionali e dei campi di variazione stabiliti dal PSC, la disciplina urbanistica generale di quelle parti del territorio comunale sottoposte dal P.S.C. al P.O.C. A loro volta i P.U.A., che possono essere di iniziativa pubblica, se elaborati dall'Amministrazione comunale o di iniziativa privata come riportato nel suddetto articolo al comma 5, sono "...(*omissis*) gli strumenti urbanistici di dettaglio per dare attuazione agli interventi di nuova urbanizzazione e di riqualificazione disposti dal POC. In considerazione degli interventi previsti, i P.U.A. possono assumere il valore e gli effetti dei piani e dei programmi descritti dall'art. 31 della L.R. 20/2000 e smi"*.

Il riferimento per quanto in oggetto sono gli artt.23-26 del Titolo 3-Sicurezza Sismica Territoriale- delle suddette N.T.A.-P.O.C..

In particolare il comma 1 dell'art. 26-Indagini obbligatorie ed ulteriori approfondimenti sismici- riporta che *"Per ogni ambito oggetto di P.U.A. e per tutti gli altri interventi di rilevanza urbanistica sono obbligatorie indagini geognostiche e geofisiche finalizzate alla definizione delle tessiture, dei parametri meccanici e verifiche di liquefazione/addensamento e dei cedimenti post sisma, seguendo come riferimento le procedure indicate nella Delibera RER n.112/2007 (AllegatoA 3). Le indagini eseguite per ogni PUA dovranno inoltre definire anche le condizioni idrogeologiche dei primi 15 metri di profondità, rispetto al piano campagna"*.

L'area in oggetto appartiene al Comparto ASP.C.r Idice Sud-Via Palazzetti; attualmente è stata pulita dalle sterpaglie presenti ed è priva di qualsiasi manufatto antropico.

Il Progetto preliminare, da sottoporre ad approvazione per PUA di iniziativa privata, prevede la realizzazione di edifici ad uso commerciale, parcheggi ed opere accessorie di viabilità.

I due elaborati di seguito riportati, redatti allo scopo di ottemperare a quanto richiesto dalle NTA del POC ed alla Normativa vigente in materia, si pongono i seguenti obiettivi generali che verranno discussi in seguito nel dettaglio:

- Relazione Geologica: indagare e ricostruire le caratteristiche stratigrafiche e meccaniche del primo sottosuolo;
- Relazione sulla Modellazione sismica: ricavare i parametri sismici di riferimento secondo un approccio semplificato di II livello.

RELAZIONE GEOLOGICA
(ai sensi del D.M.14-01-08)

Sasso Marconi (BO), aprile 2014



INDICE

1. PREMESSA	7
2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	8
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO DELL'AREA .	10
4. ANALISI DEI PIANI NORMATIVI SOVRAORDINATI	14
5. INDAGINI PRECEDENTI ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO	27
5.1 PREMESSA	27
5.2 DATABASE GEOLOGICO DEL S.G.S.S. REGIONE EMILIA-ROMAGNA	27
5.3 PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DEL COMPARTO ANS C.3 (sub c/d).....	31
5.4 RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAPANNONE INDUSTRIALE	35
6. INDAGINI ESEGUITE IN SITO E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	39
6.1 PREMESSA	39
6.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA (CPT)	39
6.3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO E PROVE SPT IN FORO.....	40
6.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	40
7. RISULTATI OTTENUTI	42
8. MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA D'INDAGINE E STIMA DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEL PRIMO SOTTOSUOLO	45
9. CONCLUSIONI	49

ALLEGATO

- FOTO ESECUZIONE INDAGINI IN SITO;
- REPORT INDAGINI CPT;
- STRATIGRAFIA SONDAGGIO S1;
- CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO;
- CERTIFICATI DELLE INDAGINI PREGRESSE ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO.

1. PREMESSA

Con il presente elaborato ci si prefigge di:

- verificare le caratteristiche preliminari della zona d'indagine dal punto di vista dei piani normativi sovraordinati (P.S.C., P.T.C.P., P.S.A.I. etc. etc.);
- ricostruire uno schema geologico preliminare dell'area mediante l'utilizzo della cartografia disponibile e di eventuali indagini pregresse eseguite in sito ed al suo contorno;
- inquadrare l'area dal punto di vista geologico mediante apposite indagini in sito;
- individuare i principali parametri fisico-meccanici dei terreni del primo sottosuolo mediante correlazioni empiriche dalle prove in sito, da dati di letteratura e da prove di laboratorio geotecnico;
- elaborare un modello geologico affidabile del primo sottosuolo, riportando in forma disaggregata i principali parametri fisico-meccanici delle unità litologiche discretizzate.

Tutte le informazioni suddette risulteranno utili al Progettista, in relazione a quanto prescritto nella Normativa vigente in materia di costruzioni, per una corretta progettazione futura delle strutture da erigere e delle opere accessorie da realizzare.

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è stato redatto secondo quanto prescritto dalla normativa nazionale e sulla base di quanto acquisito nei piani attuativi regionali, provinciali e comunali di seguito riportati:

a) *Normativa nazionale:*

- Decreto Ministeriale 14-01-2008: "*Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni*";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: "*Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009, n.617*";
- D.M. 11 marzo 1988 "*Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione*".

b) *Normativa regionale-provinciale-comunale:*

- Autorità di Bacino del Fiume Reno, "*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I)*", Norme, Rischi da frana ed assetto dei versanti, Bacino del Torrente Idice-Savena vivo, 6/12/2002;
- Provincia di Bologna, "*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)*", stesura approvata con delibera del Consiglio Provinciale n.19 del 30/03/2004, tavole e successive varianti;
- Comune di San Lazzaro di Savena (BO), "*Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) in forma associata dei Comuni di Castenaso, Ozzano dell'Emilia e San Lazzaro di Savena*", adottato con Delibera del Consiglio Comunale n.23 del 20/05/2008 ed approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.27 del 07/04/2009;
- Comune San Lazzaro di Savena (BO) - "*Regolamento Urbanistico attuativo (R.U.E.)*", adottato con la Delibera del Consiglio Comunale n.28 del 07/04/2009 ed approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.27 del 08/06/2010;
- Comune San Lazzaro di Savena (BO) - "*Piano Operativo Comunale (P.O.C.) variante 1- 2012 (L.R. 24 marzo 2000, n.20-art. 30)*", adottato

con Delibera del Consiglio Comunale n. 46 del 19/07/2012 ed approvato
con Delibera del Consiglio Comunale n. 21 del 28/05/2013;

- Comune San Lazzaro di Savena (BO), "*Piani Urbanistici Attuativi (P.U.A.)*", Relazione geologica, sismica e geotecnica approvata ed adottata per il comparto ANSC.3 (sub.c/d), Località Idice- Palazzetti, redatta dal Dott. Geol Valeriano Franchi nel dicembre 2011.

E' stata anche consultata e presa in considerazione la "*Cartografia geologica on-line interattiva*" ed il relativo *Database* delle indagini in sito del Servizio Geologico e Sismico dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (S.G.S.S. R.E-R).

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO DELL'AREA

La zona oggetto del presente studio è ubicata nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO) a circa 2300m a sud est del suddetto centro abitato; in particolare l'area si colloca in via Palazzetti a nord nella zona artigianale-industriale ed alle spalle del capannone della Ditta A. Da Corte Snc di via Palazzetti 5 che si occupa di stampaggio di metalli a freddo (Figura 1). Il terreno in oggetto è di proprietà della Finda Srl di via Rubbiani 6/2, Bologna.



Figura 1 - Inquadramento area d'indagine (non in scala; Fonte: fotopiano google Earth).

L'area in oggetto è ubicata sul versante orografico sinistro del Torrente Idice, che scorre ad est a circa 1km di distanza, in una zona artigianale circondata da campi. La quota media è di circa 74m slm e la zona è individuata dalla seguente cartografia:

- Sezione 221100 "Idice", scala 1:10.000;
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), elemento n.221103, scala 1:5.000 (Figura 2);
- Mappa Catastale Foglio 19, Particelle 521-522, scala 1:2.000 (Figura 3).

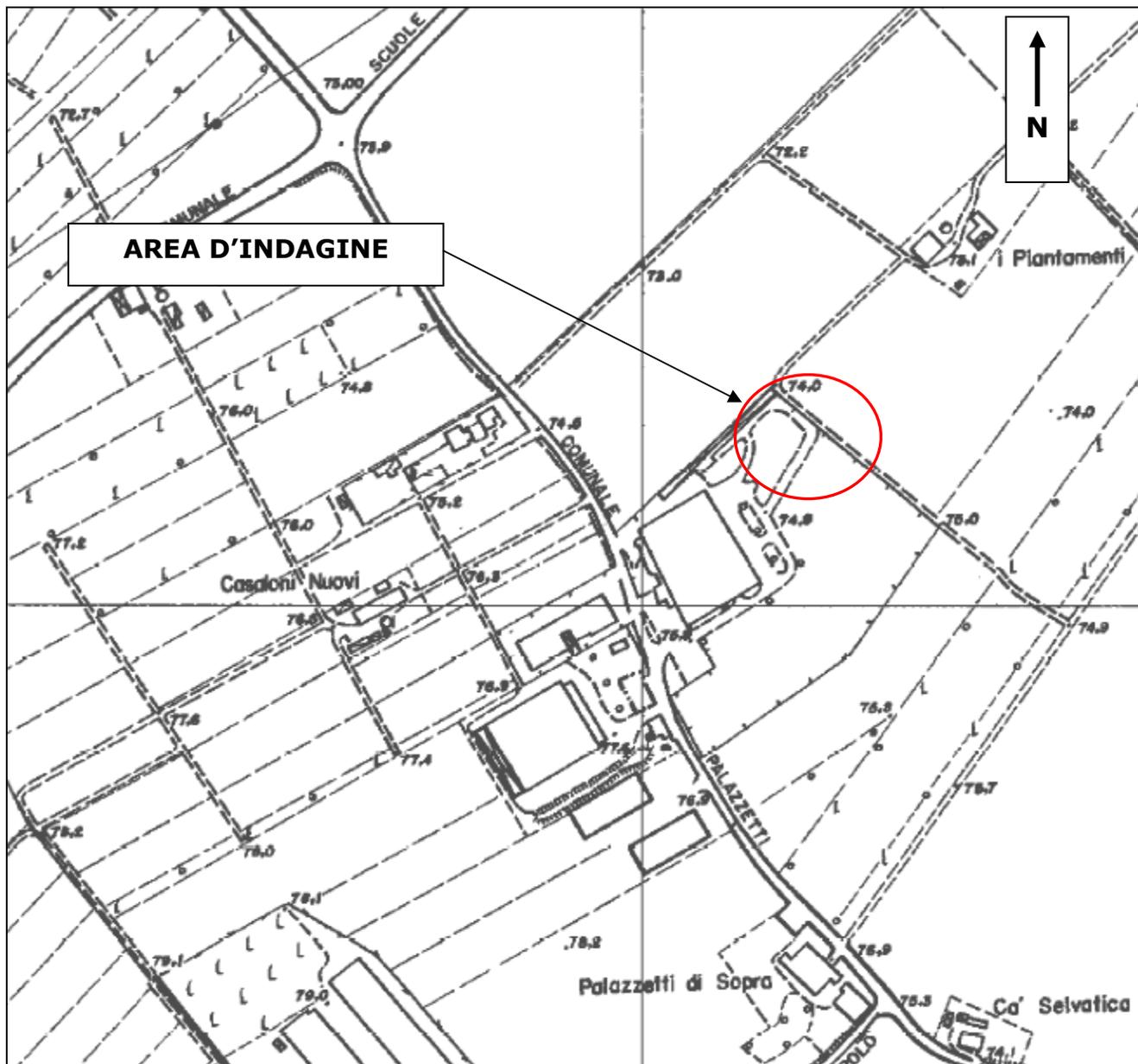


Figura 2 – Stralcio C.T.R.-elemento n.221103, scala 1:5.000 (Fonte: Regione Emilia-Romagna; Servizio Geologico e Sismico dei Suoli. Cartografia on-line interattiva).

Dal punto di vista geomorfologico l'area appartiene all'ambiente di alta pianura a ridosso dei rilievi collinari; in particolare la zona è caratterizzata da una topografia pianeggiante fortemente rimaneggiata dall'uomo.

I confini della zona sono bordati da canai di scolo; tutta il territorio circostante così come l'area in oggetto sono caratterizzati dalla presenza di canali/fossi di scolo secondari al contorno dei campi coltivati ad andamento perpendicolare tra loro.

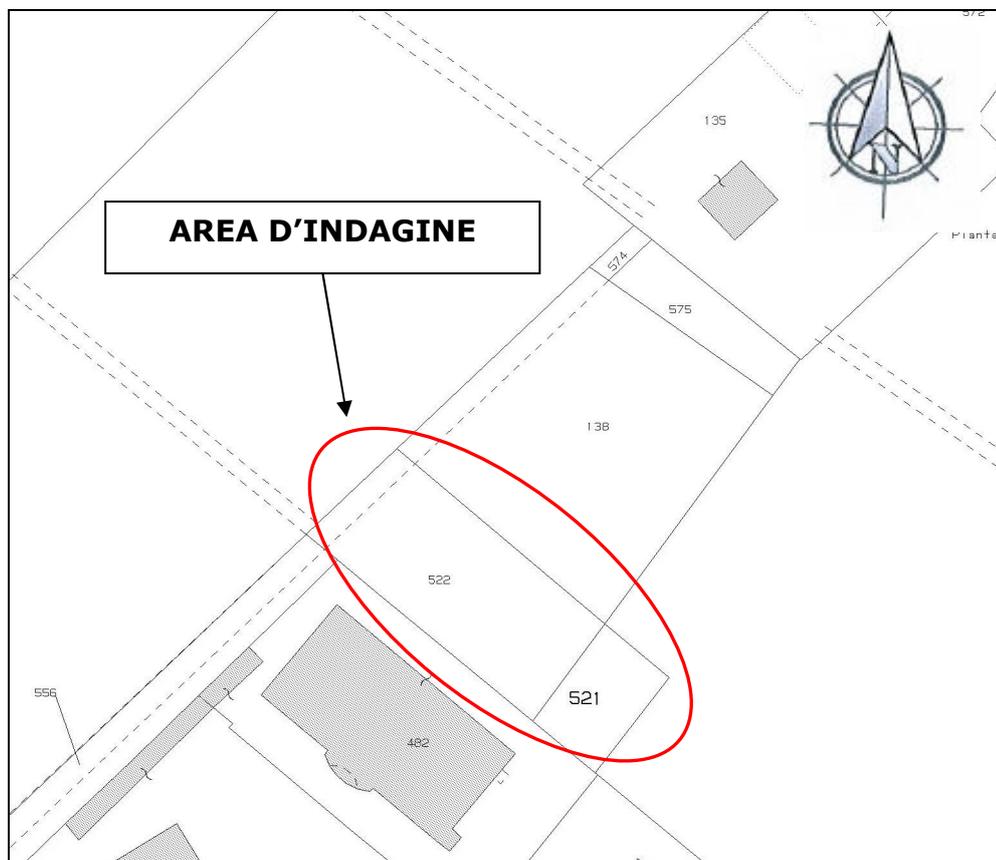


Figura 3 – Estratto di mappa Catastale, Foglio 19, Particelle 522 e 521, scala 1:2.000.

Dal punto di vista geologico generale, nell'area sono presenti depositi quaternari di piana alluvionale della successione neogenico-quaternaria appartenenti al margine appenninico padano.

Le litologie costituenti il primo sottosuolo sono limi sabbiosi tipici di depositi di canale, argini e rotte fluviali appartenenti al Subsistema di Ravenna (AES8 in Figura 4).

Secondo la legenda della Carta Geologica alla scala 1:10.000 della Regione Emilia Romagna, sezione 221100-Idice, tale Subsistema ha le seguenti caratteristiche: *"Nei settori intravallivi ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana.*

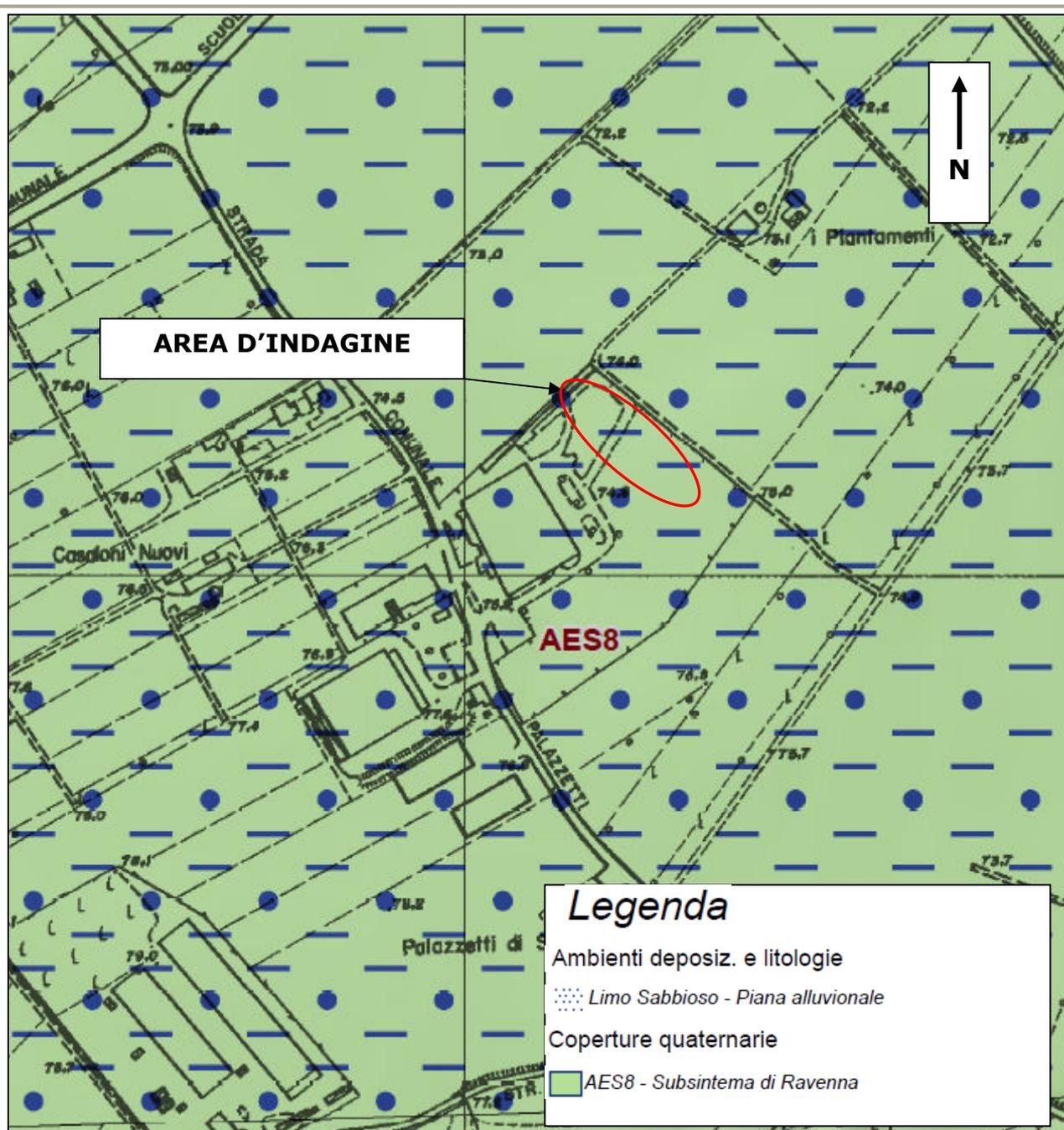


Figura 4 – Stralcio Carta geologica dell'area d'indagine, scala 1:5.000 (Fonte Regione Emilia-Romagna. Servizio Geologico e sismico dei suoli; cartografia digitale on-line).

I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore erosivo sui depositi marini e alluvionali sottostanti. Subsistema contenente una unità a limiti inconformi di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo in pianura di 25 metri circa. [Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione 14C)]”.

4. ANALISI DEI PIANI NORMATIVI SOVRAORDINATI

Al fine di verificare la presenza o meno di criticità nell'area in oggetto, è stata consultata ed analizzata la cartografia relativa ai seguenti Piani Normativi Sovraordinati:

- Autorità di Bacino del Fiume Reno, "*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.)*", Norme, Rischi da frana ed assetto dei versanti, Bacino del Torrente Idice-Savena vivo, 6/12/2002;
- Provincia di Bologna, "*Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)*", stesura approvata con delibera del Consiglio Provinciale n.19 del 30/03/2004, tavole e successive varianti;
- Comune di San Lazzaro di Savena (BO), "*Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) in forma associata dei Comuni di Castenaso, Ozzano dell'Emilia e San Lazzaro di Savena*", adottato con Delibera del Consiglio Comunale n.23 del 20/05/2008 ed approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.27 del 07/04/2009.

Per quanto concerne il *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.)*, le Tavole inerenti il Rischio idraulico e l'assetto della rete idrografica del Torrente Idice, riportano quanto segue:

- *Tavola 1.2 – Reticolo idrografico ed ambiti territoriali normati, scala 1:25.000, 6 dicembre 2002.* La zona ricade nel bacino imbrifero di pianura e pedecollinare del Torrente Idice regolato dall'art. 20 delle Norme P.S.A.I. (Figura 5);
- *Tavola 2.6/m1 - Zonizzazione Idice, scala 1:5.000, 25 luglio 2005.* L'area in oggetto ricade abbondantemente al di fuori delle fasce ad alta probabilità di esondazione e di pertinenza fluviale "PF.M" regolate rispettivamente dagli artt. 16 e 18 delle Norme P.S.A.I. (Figura 6);

La cartografia del *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.)* ha restituito quanto di seguito riassunto:

- *Tavola 2.b – Tutela delle acque superficiali e sotterranee, scala 1:50.000, giugno 2013, Foglio nord.* L'area ricade all'interno della campitura che identifica le aree di ricarica di tipo B (art.5.3 delle Norme P.T.C.P.) caratterizzate da ricarica indiretta della falda: generalmente presenti tra

la zona A, aree di ricarica diretta della falda, e la pianura, sono zone dal punto di vista idrogeologico identificabili come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale (Figura 7);

- *Tavola 2.C – Rischio sismico: carta delle aree suscettibili ad effetti locali, scala 1:25.000 Foglio III, novembre 2013.* Tutta la zona è classificata come "A", ovvero "Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche" (Figura 8).

Infine l'analisi della cartografia appartenente al Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) di San Lazzaro di Savena redatto in forma associata con i Comuni di Castenaso ed Ozzano dell'Emilia, adottata nel maggio 2008 ed approvata nell'aprile 2009, ha evidenziato quanto segue:

- *Elaborato SI.PSC.3a - Ambiti e Trasformazioni territoriali, scala 1:10.000.* Tale cartografia classifica l'area d'indagine come ASP.C.r "ambiti produttivi di rilevanza comunale da riqualificare" (Figura 9);
- *Elaborato AS.B.B.11 - Carta geolitologica, scala 1:25.000.* La zona è caratterizzata da litologie a tessitura di pianura sabbioso-limosa di conoide (Figura 10);
- *Elaborato SI.B.I.2a - Carta idrogeologica, scala 1:10.000.* La zona ricade nella campitura dei terrazzi fluviali non connessi (Figura 11);
- *Elaborato SI.B.I.3a - Carta delle Criticità territoriali, scala 1:10.000.* Come nella precedente carta anche in questo caso la zona ricade nei terrazzi non connessi;
- *Relazione geologica e sismica Carta idrogeologica del quadrante sud ovest del Bolognese* (Figure 12a e 12b non in scala). In tale cartografia sono riportate una piezometrica statica (Figura 12a) ed soggiacenza dinamica (Figura 12b) del 1996 rispettivamente pari a circa 50m slm e 25m da p.c., Posto che l'area ha un aquota assoluta di circa 74m slm in base alla piezometrica statica di Figura 12°, per l'area d'indagine nel 1996 era prevista una soggiacenza di circa 24m da p.c.;
- *Elaborato SI.B.1.4a - Zonizzazione sismica preliminare, scala 1:10.000.* Secondo il D.M. 159/2005 l'area rientrerebbe nella Categoria del sottosuolo B estrapolata e terreni non liquefacibili in quanto insaturi (Figura 13);

- *Elaborato SI.B.1.6 - Microzonazione sismica, scala 1:10.000.* L'area è identificata come C-I-2 che secondo la classificazione utilizzata nella Relazione geologica e sulla microzonazione sismica redatta dallo Studio associato Viel & Sangiorgi, assegna alla zona le seguenti caratteristiche (Figura 14):
 - *sedimenti recenti attualmente insaturi;*
 - *$200\text{m/s} < V_{s,30} < 350\text{m/s};$*
 - *F.A. Pianura 1: $PGA = 1.7$; F.A. $0.1\text{s} < T_0 < 0.5\text{s} = 1.9$; F.A. $0.5\text{s} < T_0 < 1\text{s} = 2.5$.*

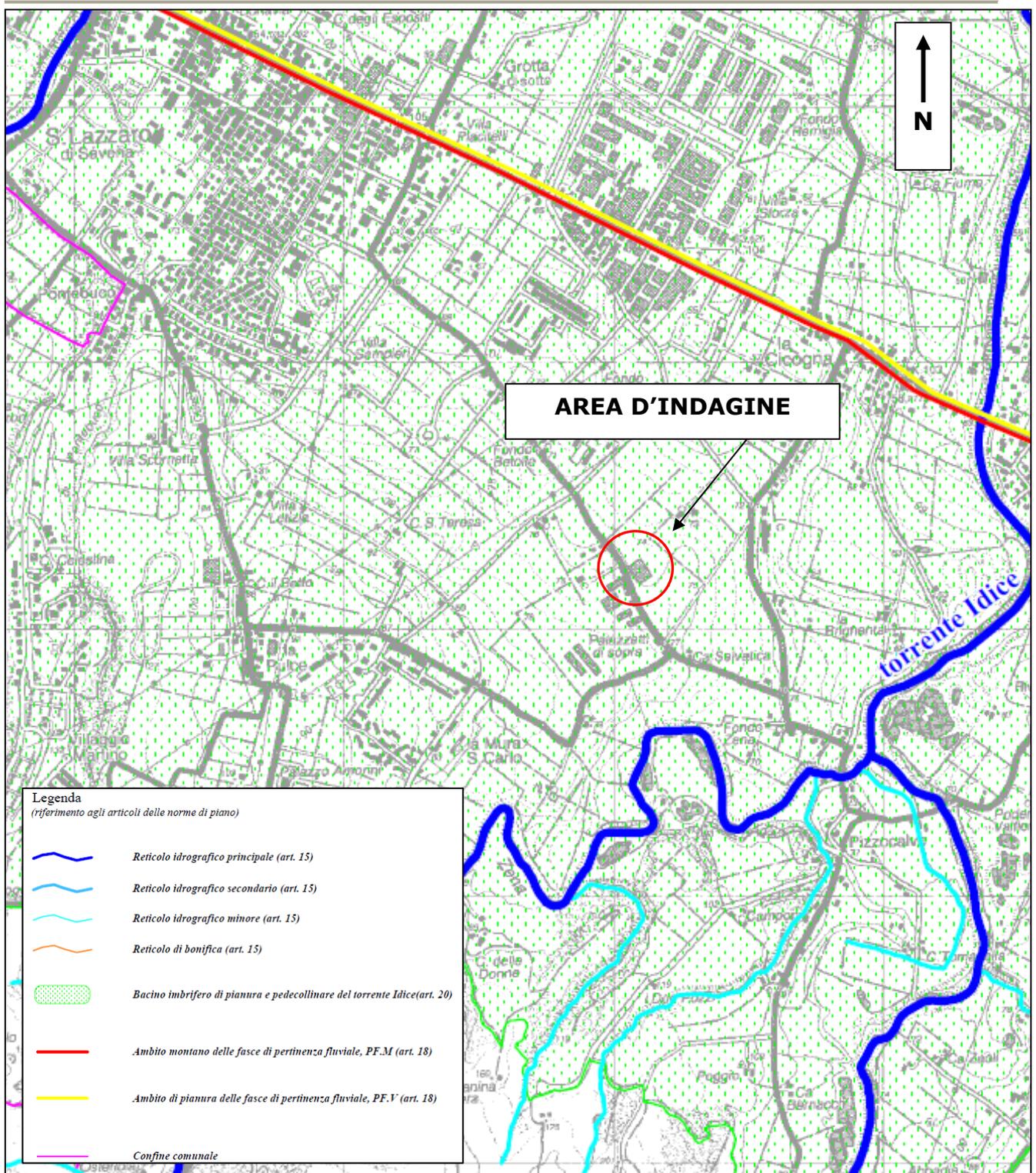


Figura 5 – Stralcio della Carta del Reticolo idrografico ed ambiti territoriali normati, scala 1:25.000
(Fonte: PSAI II- Rischio idraulico e assetto rete idrografica. II-2 Bacino del Torrente Idice, Tavola 1.2,
dicembre 2002).

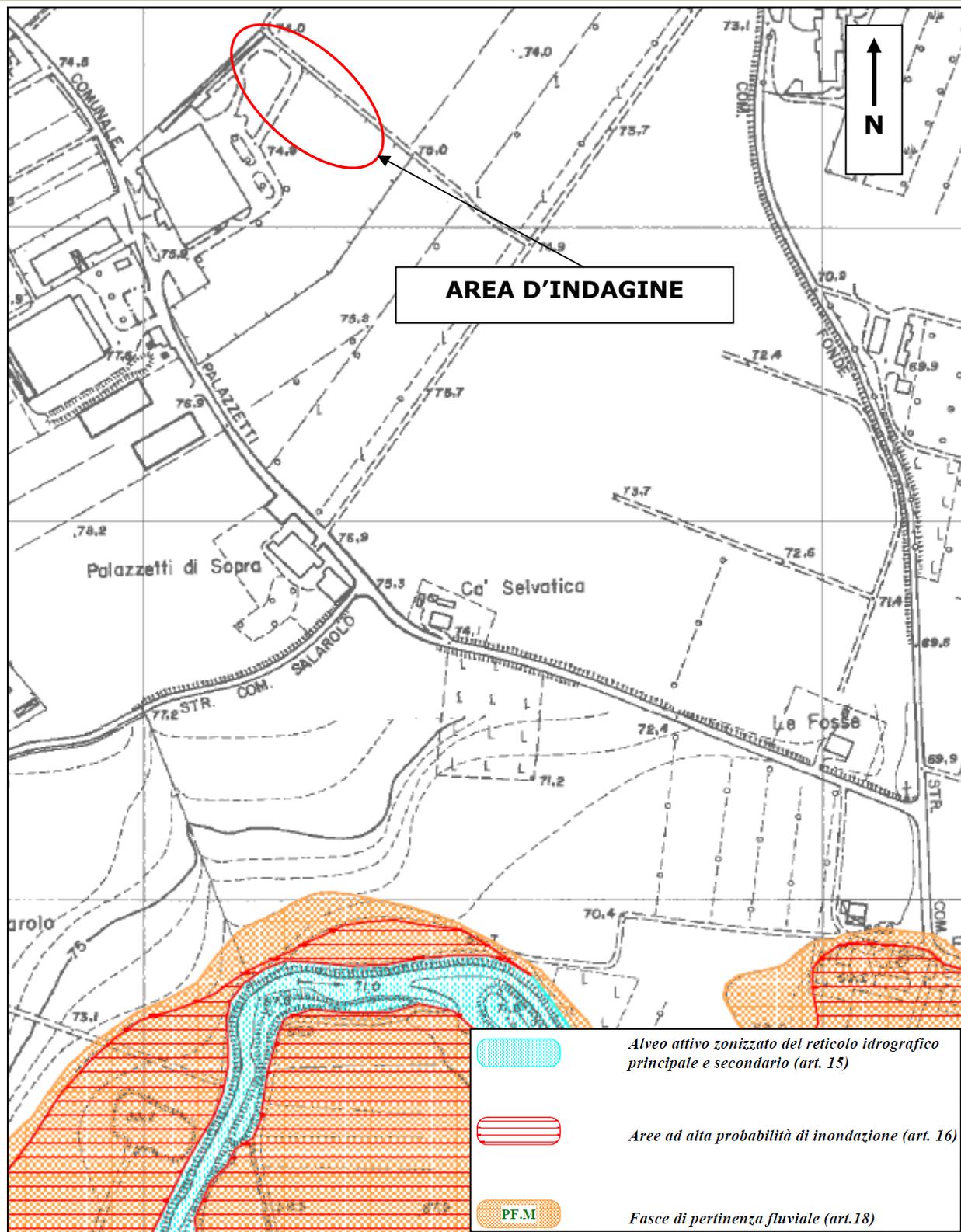


Figura 6 – Stralcio della Carta zonizzazione del Torrente Idice, scala 1:5.000 (Fonte: PSAI II- Rischio idraulico e assetto rete idrografica. II-2 Bacino del Torrente Idice, Tavola 1.2, luglio 2005).

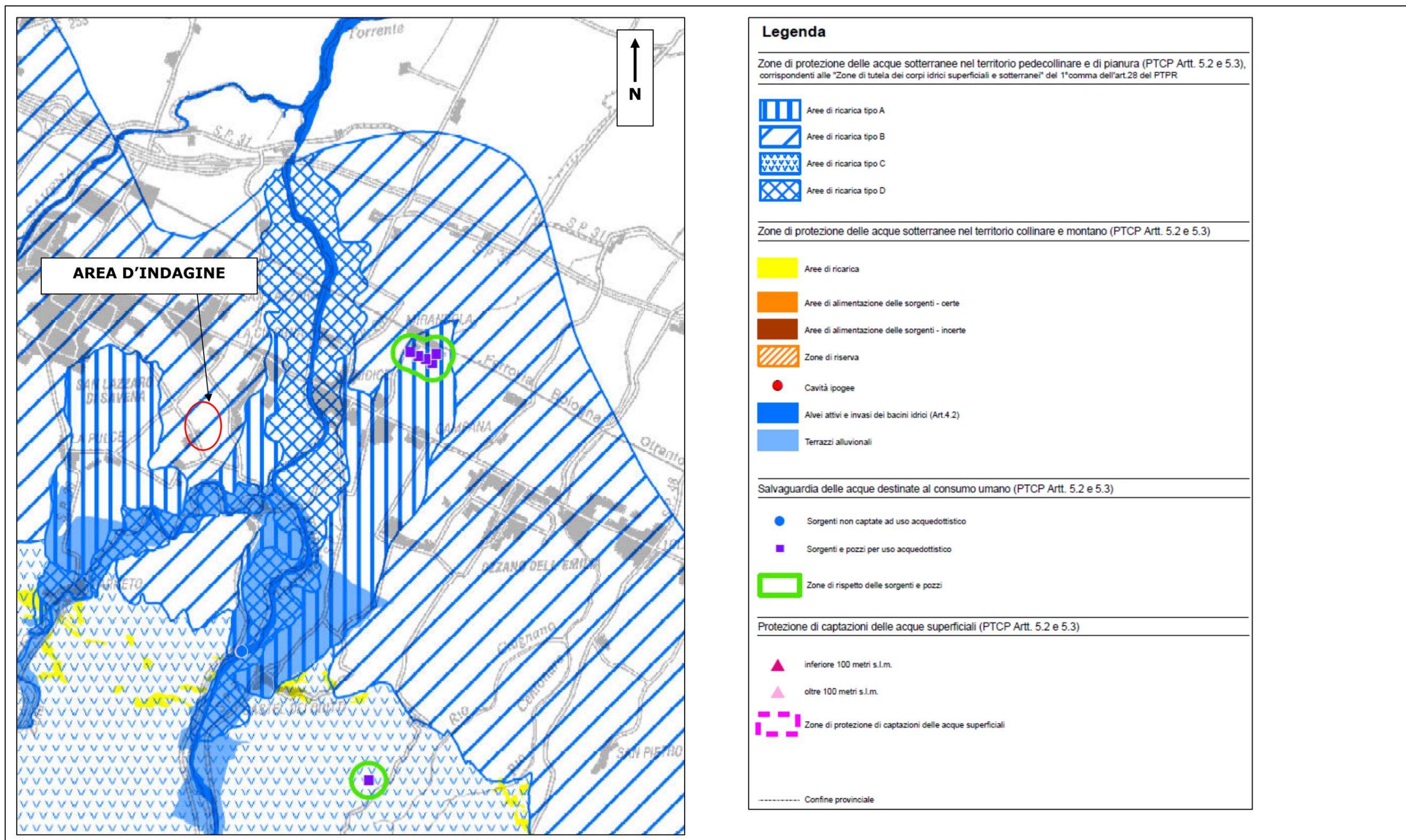


Figura 7 – Stralcio Carta della tutela delle acque superficiali e sotterranee, scala 1:50.000 (Fonte: PTCP Provincia di Bologna, Tavola 2B-Foglio nord, giugno 2013).

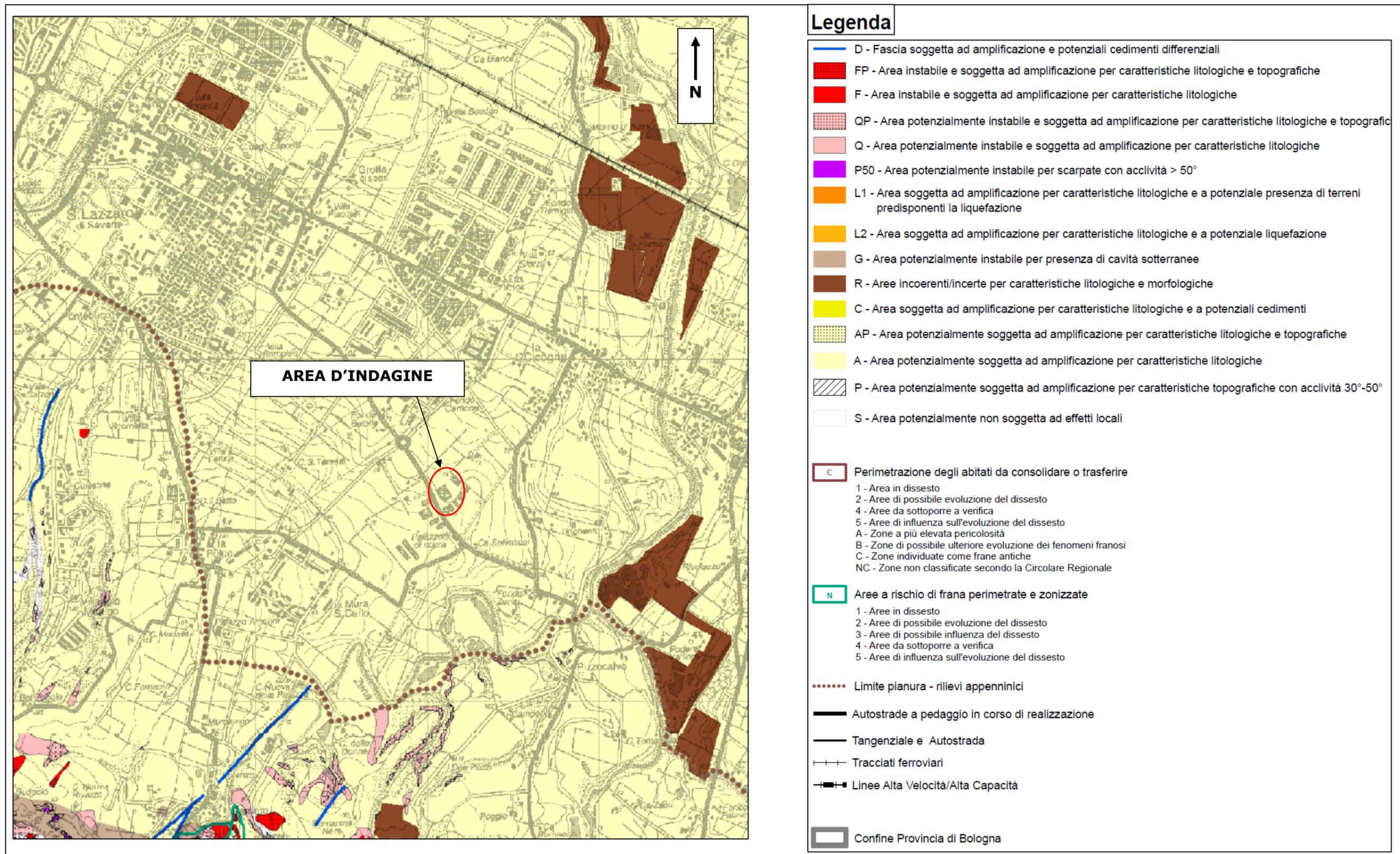


Figura 8 – Stralcio Carta del Rischio sismico: aree suscettibili ad effetti locali, scala 1:25.000 (Fonte: PTCP Provincia di Bologna Tavola 2.C, novembre 2013).

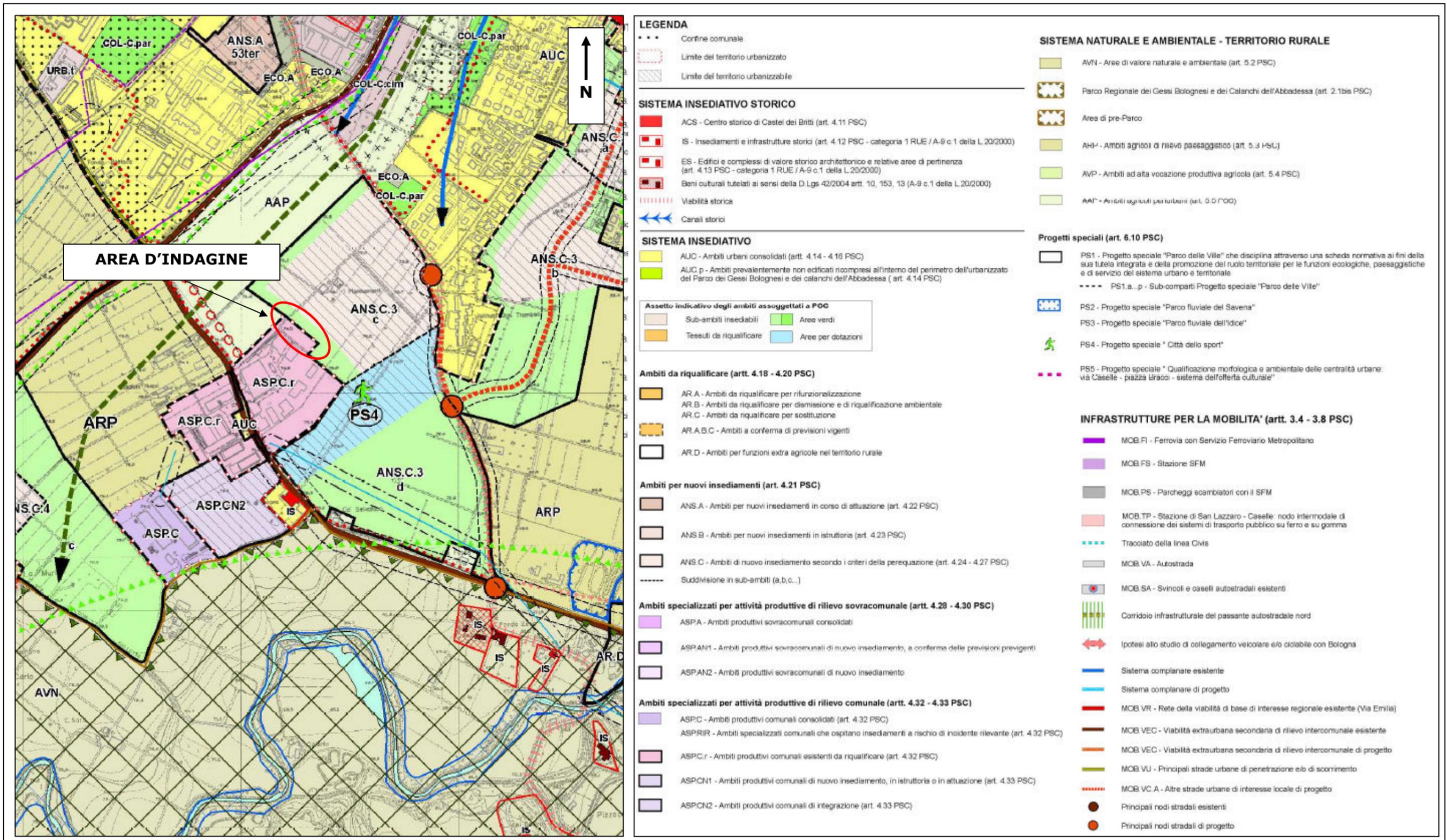
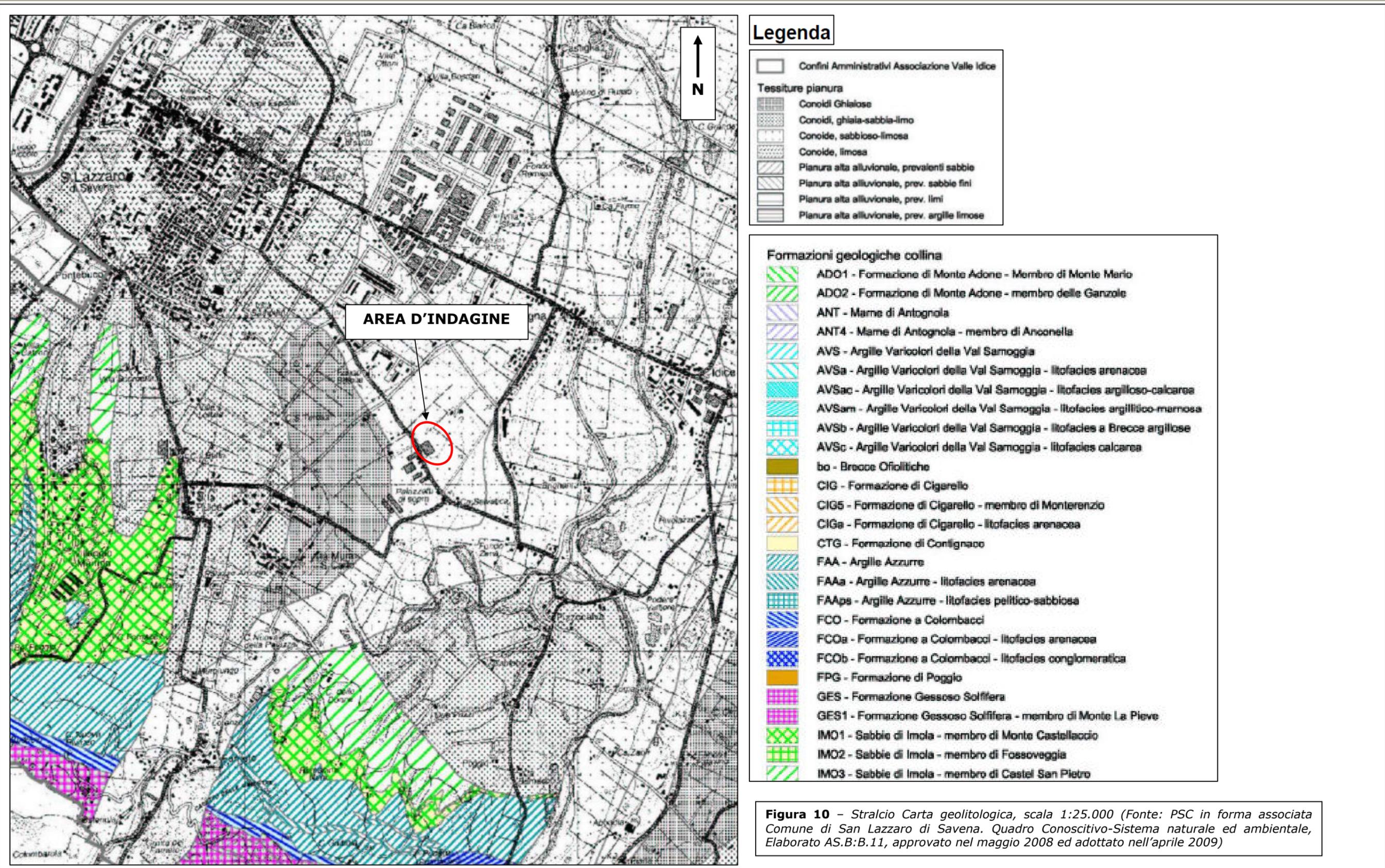


Figura 9 – Stralcio della Carta degli ambiti e delle trasformazioni territoriali, scala 1:5.000 (Fonte: PSC in forma associata Comune di San Lazzaro di Savena, Elaborato SI.PSC.3a - Ambiti e Trasformazioni territoriali, approvato nel maggio 2008 ed adottato nell'aprile 2009).



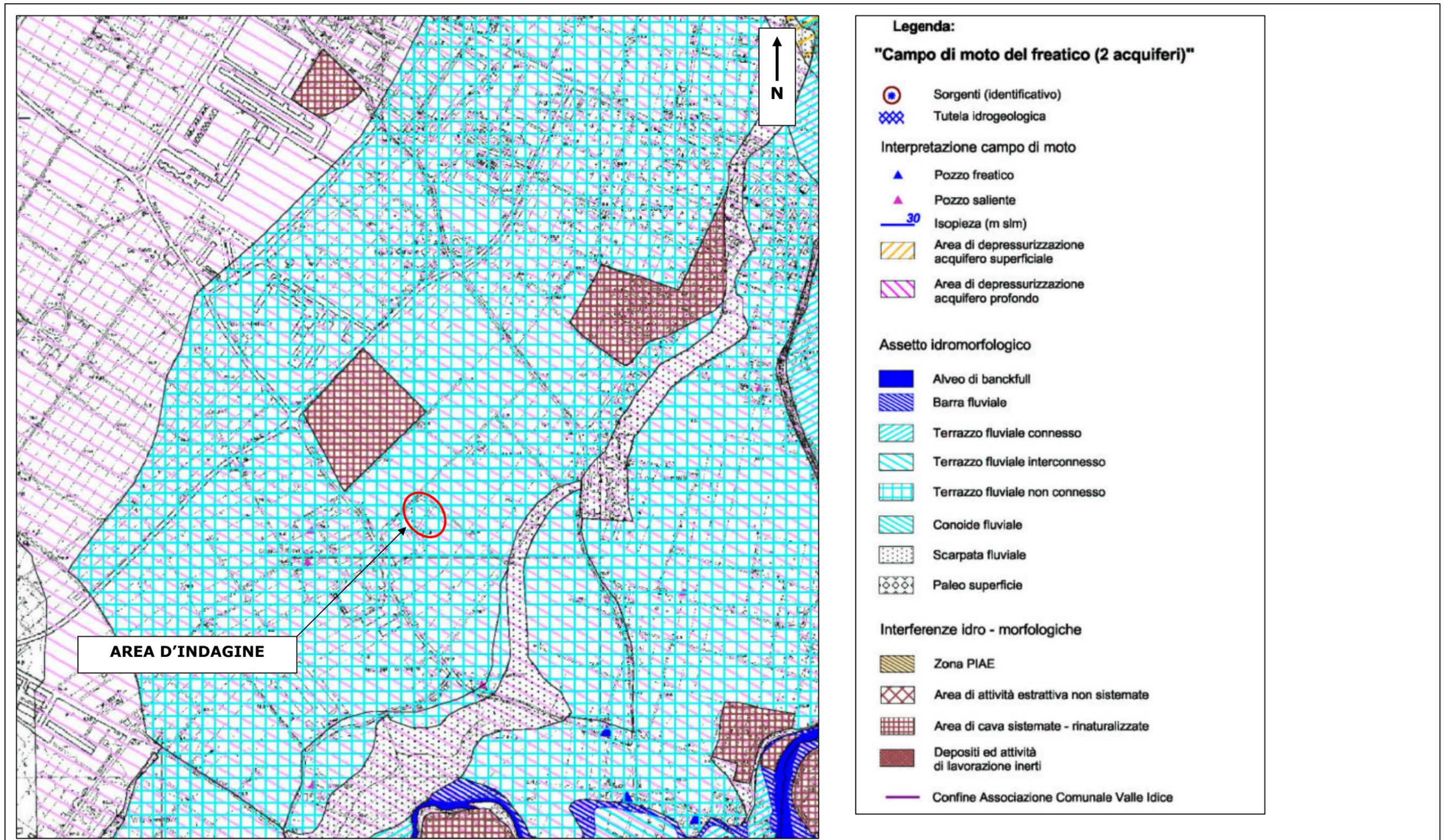


Figura 11 – Stralcio carta idrogeologica, scala originale 1:10.000 (Fonte: PSC in forma associata Comune di San Lazzaro di Savena. Quadro Conoscitivo-Sistema naturale ed ambientale, Elaborato SI.B.I.2a, approvato nel maggio 2008 ed adottato nell'aprile 2009).

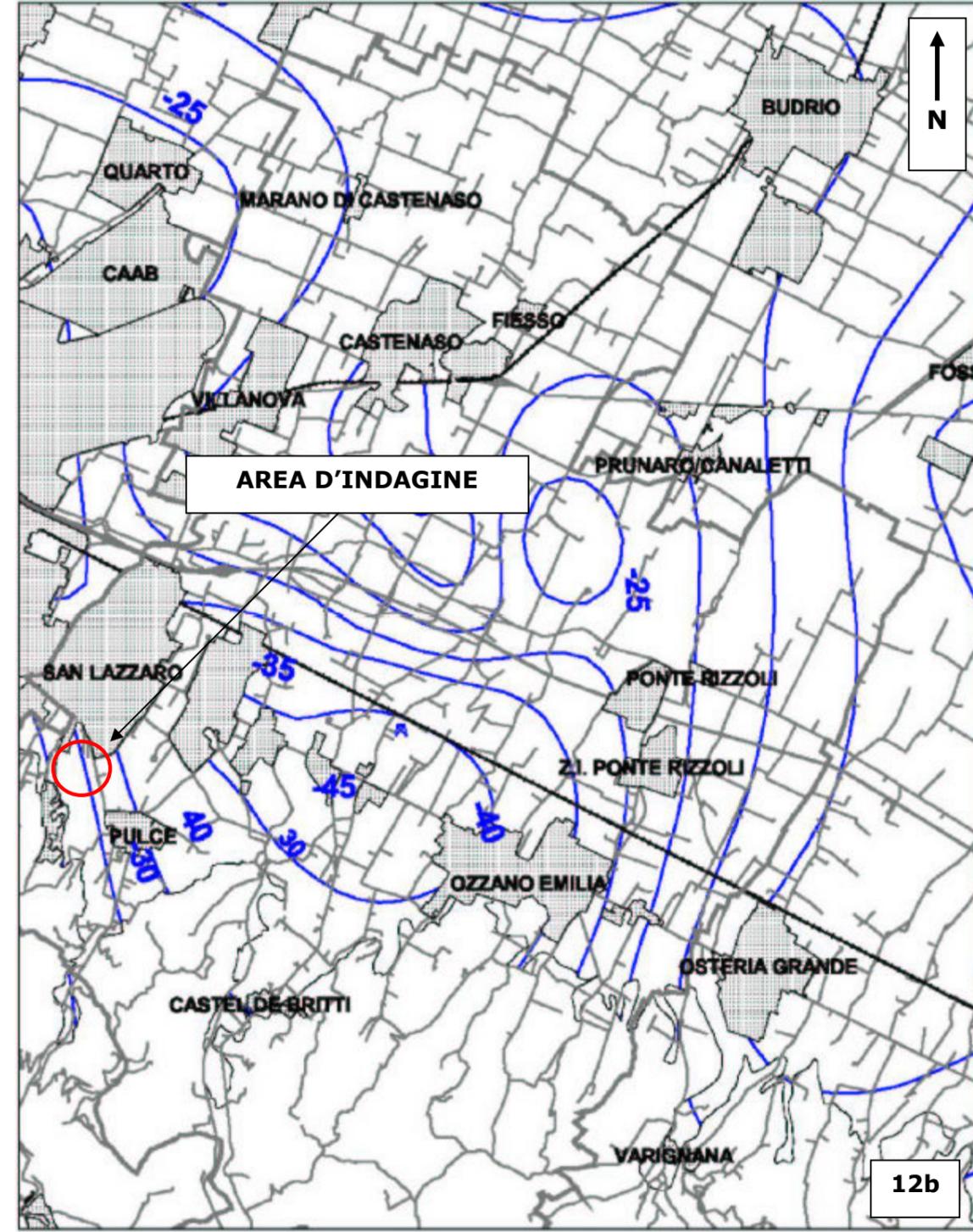
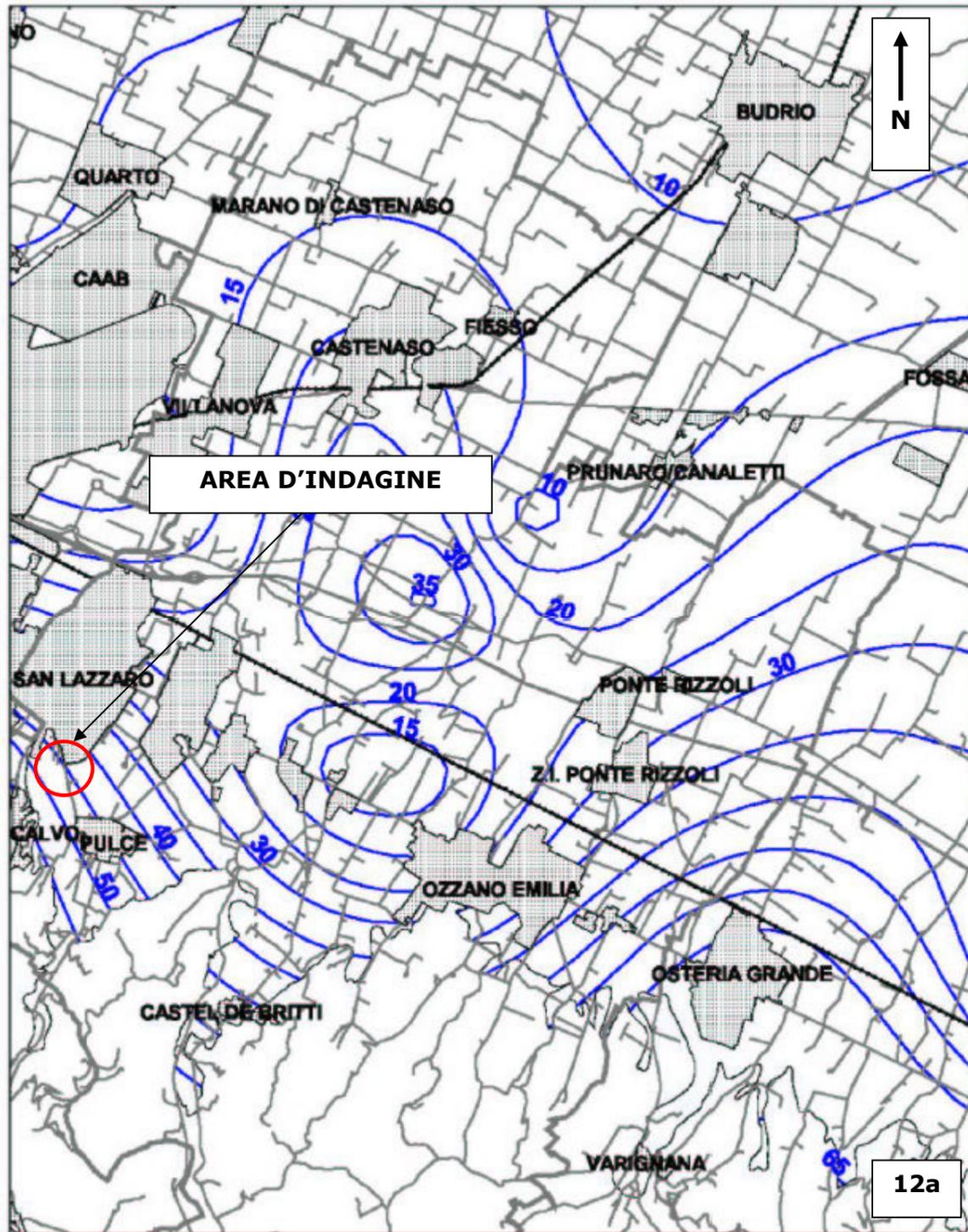


Figure 12a e 12b- Isoipsa del 1996 del quadrante orientale della pianura bolognese (12a) e soggiacenza del livello dinamico (12b) (Fonte: PSC in forma associata Comune di San Lazzaro di Savena. Quadro Conoscitivo-Sistema naturale ed ambientale, Relazione geologica Elaborato B.Rela, approvato nel maggio 2008 ed adottato nell'aprile 2009:).

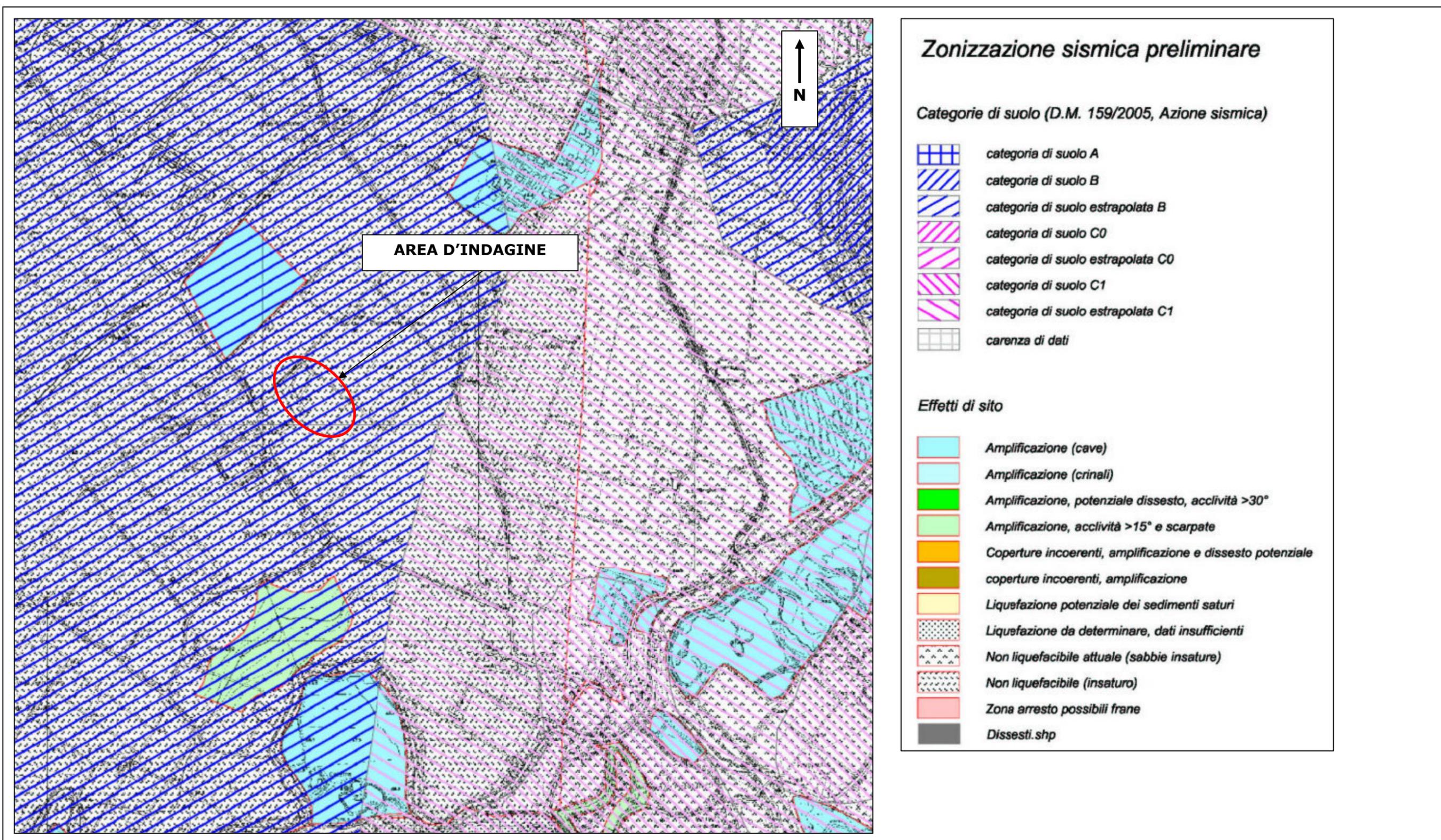


Figura 13 – Stralcio Carta di Zonizzazione sismica preliminare ai sensi del D.M. 159/2005, scala 1:10.000 (Fonte: PSC in forma associata Comune di San Lazzaro di Savena. Quadro Conoscitivo-Sistema naturale ed ambientale, Elaborato SI.B1.a4, approvato nel maggio 2008 ed adottato nell'aprile 2009).

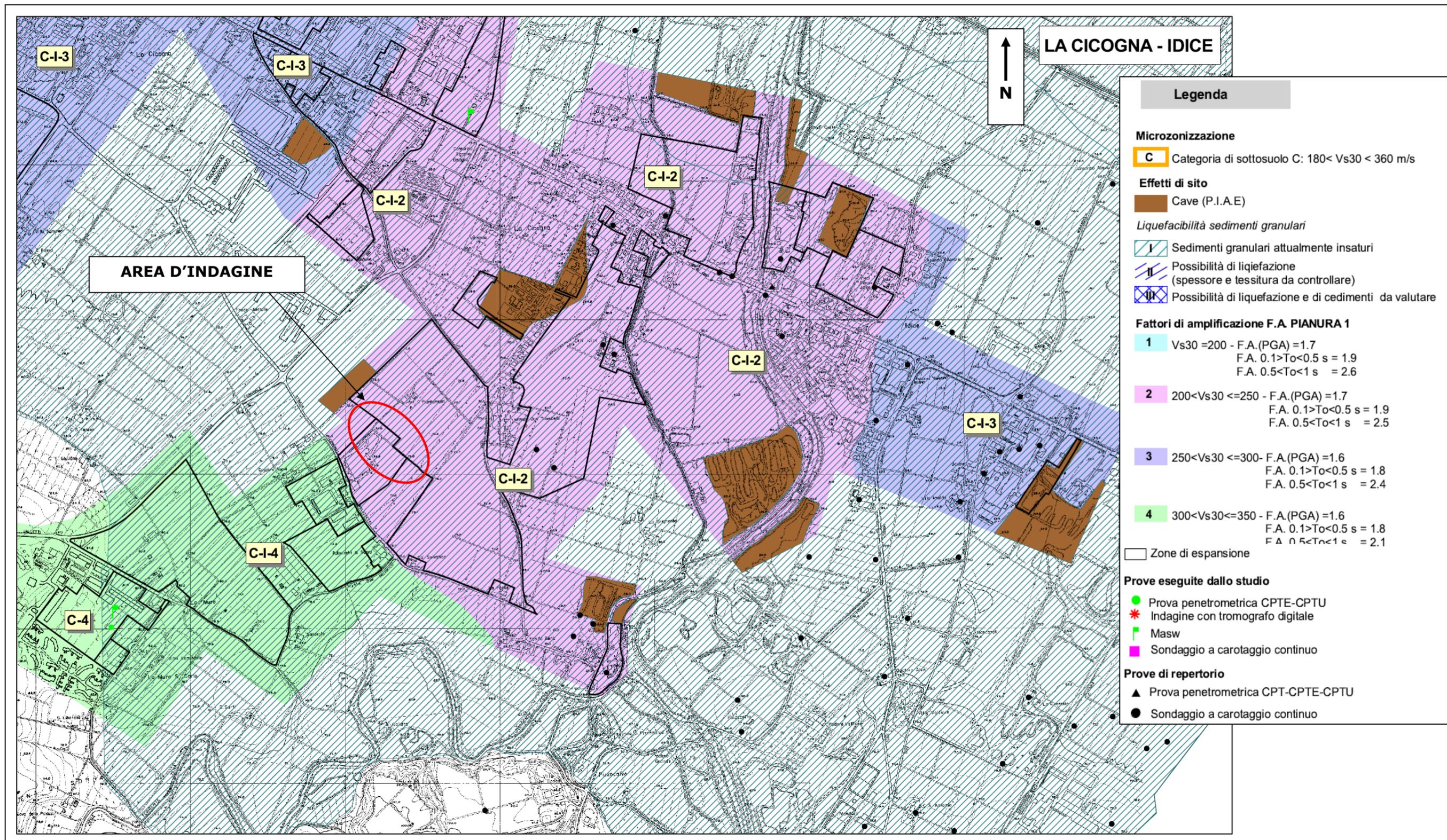


Figura 14 –Carta di microzonazione sismica per la zona La cicogna-Idice, scala 1:5.000 (Fonte: *PSC in forma associata Comune di San Lazzaro di Savena. Quadro Conoscitivo-Sistema naturale ed ambientale, Elaborato SI.B1.6, approvato nel maggio 2008 ed adottato nell'aprile 2009. Elaborazione eseguita dallo Studio Associato di Geologia applicata Viel & Sangiorgi*).

5. INDAGINI PRECEDENTI ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO

5.1 PREMESSA

Per una ricostruzione preliminare del sottosuolo all'intorno dell'area di riferimento sono state prese in considerazione le indagini provenienti da:

- *Database* geologico *on-line* del Servizio Geologico e Sismico dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (S.G.S.S. R.E-R);
- P.U.A. del comparto ANS C.3 (sub c/d) attiguo al sito. Relazione geologica e sismica a firma del Dott. Geol. Valeriano Franchi, datata dicembre 2011;
- Relazione geologico-geotecnica "*Studio dei terreni di Fondazione per una nuova costruzione industriale posta in via Palazzetti, in Comune di San Lazzaro di Savena (Bologna)*", a firma del Dott. Bruno Ferri, datata giugno 1987.

Nei successivi paragrafi si discutono nel dettaglio i risultati ottenuti dalle suddette indagini; i certificati delle prove sono riportati in Allegato.

5.2 DATABASE GEOLOGICO DEL S.G.S.S. REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Nell'area in oggetto dalla consultazione del *Database* geologico del S.G.S.S. della Regione Emilia-Romagna risulta che al contorno del sito sono state eseguite le seguenti indagini in sito (Figura 15):

- n°5 pozzi per acqua ad uso irriguo ed industriale;
- n°1 sondaggio a distruzione di nucleo.

Nelle Tabelle 5.1a-5.1f, sono riportate le caratteristiche delle prove eseguite al contorno del sito con la ricostruzione litologica dei terreni attraversati; i certificati originali di tali indagini sono riportati in Allegato.

Se si confrontano i dati stratigrafici dei pozzi effettuati si ottengono le seguenti informazioni:

- in generale emerge che al di sotto della coltre superficiale sono presenti argille più o meno limose, sabbie e ghiaia alternate tra loro;
- tutti i pozzi riportano nelle stratigrafie la presenza di ghiaia a partire da circa 20m da p.c., mentre il sondaggio a distruzione, ubicato più a nord

est rispetto ai pozzi, ha riscontrato la presenza di ghiaia già dopo 2m di terreno limoso argilloso superficiale.

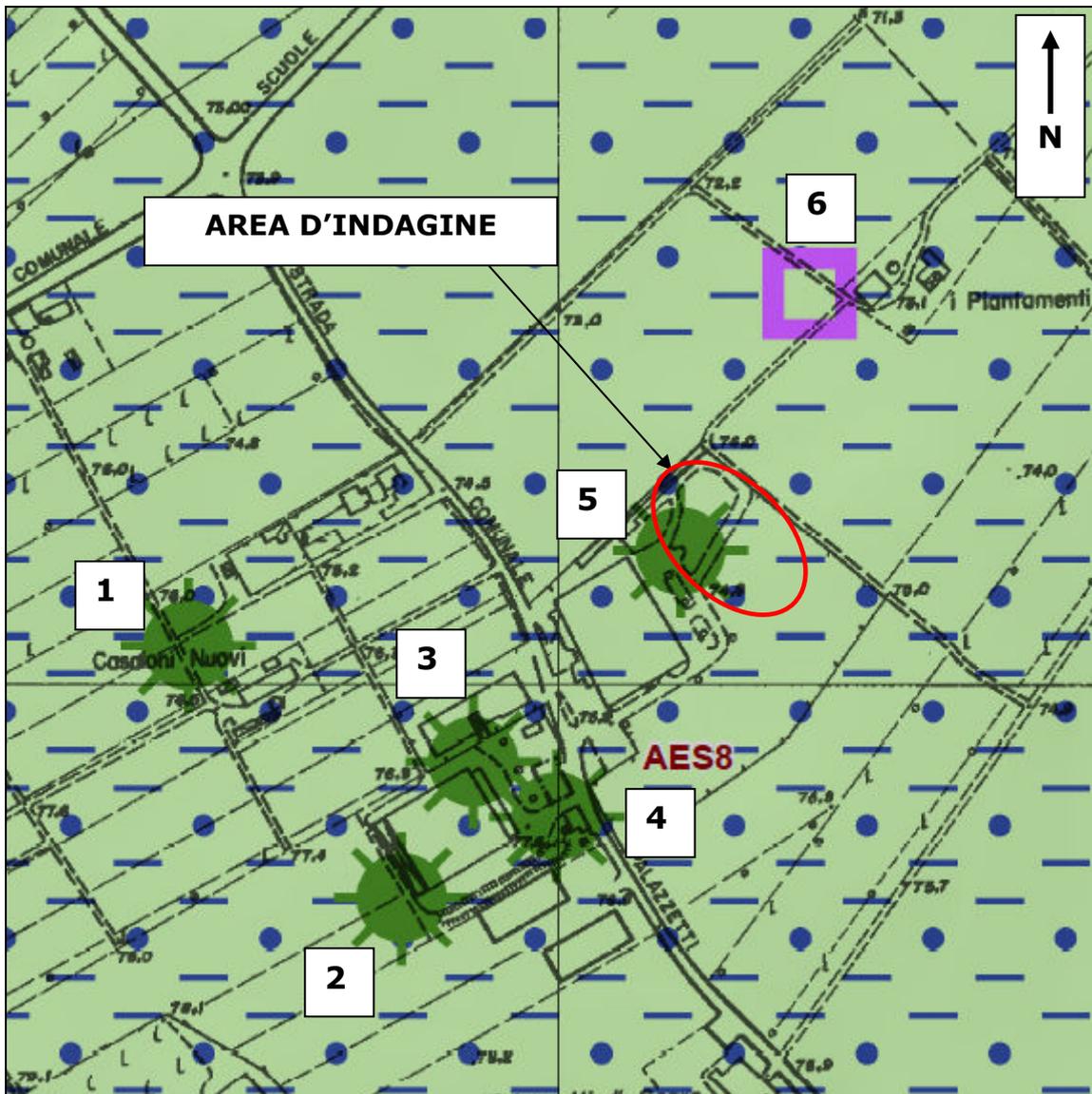


Figura 15 – Ubicazione indagini al contorno del sito riportata su stralcio C.T.R. -elemento n. 221103, scala 1:5.000. Per le specifiche di ciascuna indagine 1-6 riportata in figura, si veda il testo (Fonte: Regione Emilia-Romagna; Servizio Geologico e Sismico dei Suoli. Cartografia on-line interattiva, mod.).

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 5.1a – Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P756 (1 in Figura15) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P756; riferimento Figura 15: 1					
QUOTA: 76.3m slm			USO: POZZO PER ACQUA		
DATA DI ESECUZIONE: 30/06/1962			PROFONDITA': 70m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 330m a ovest			SOGGIACENZA FALDA: -		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷22	Argilla scura	6	50÷55	arenaria
2	22÷25	Ghiaia grossa asciutta	7	55÷60	Sabbia acquifera
3	25÷40	Argilla compatta gialla	8	60÷65	Ghiaiutto e sabbia con acqua
4	40÷44	Sabbia e ghiaia acquifera	9	65÷70	Argilla mista a sabbia fine
5	44÷50	argilla	-	-	-

Tabella 5.1b – Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P672 (2 in Figura15) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P672; riferimento Figura 15: 2					
QUOTA: 76.9m slm			USO: POZZO PER ACQUA		
DATA DI ESECUZIONE: -			PROFONDITA': 68m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 300m a sud-ovest			SOGGIACENZA FALDA: -		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷27.50	Argilla	6	38.50÷46.50	ghiaia
2	27.50÷31	ghiaia	7	46.50÷51.30	argilla
3	31÷32	Argilla	8	51.30÷61.30	Ghiaia
4	32÷36	ghiaia	9	61.30÷64.50	Argilla
5	36÷38.50	argilla	10	64.50÷68	ghiaia

Tabella 5.1c – Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P670 (3 in Figura15) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P670; riferimento Figura 15: 3					
QUOTA: 76.9m slm			USO: POZZO PER ACQUA		
DATA DI ESECUZIONE: 1/10/1977			PROFONDITA': 126m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 170m a sud-ovest			SOGGIACENZA FALDA: 17m da p.c. (1977)		

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷20	Terreno vegetale	5	60÷80	Sabbia con acqua (filtro)
2	20÷30	Ghiaia asciutta	6	80÷110	argilla
3	30÷55	Sabbia asciutta	7	110÷121	Ghiaia con acqua (filtro)
4	55÷60	argilla	8	121÷126	Argilla

Tabella 5.1d – Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P671 (4 in Figura15) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P670; riferimento Figura 15: 4					
QUOTA: 77.5m slm			USO: POZZO PER ACQUA		
DATA DI ESECUZIONE: 9/9/1975			PROFONDITA': 130m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 215m a sud-ovest			SOGGIACENZA FALDA: -		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷18	Terreno vegetale -Argilla	5	79.5÷115	argilla
2	18÷57	Ghiaia e sabbia asciutte	6	115÷124	Ghiaia con acqua (filtro)
3	57÷63	argilla	7	124÷130	argilla
4	63÷79.5	Sabbia con acqua (filtro)	-	-	-

Tabella 5.1e – Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P721 (5 in Figura15) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P721; riferimento Figura 15: 5					
QUOTA 74.9m slm			USO: POZZO PER ACQUA		
DATA DI ESECUZIONE: 9/9/1975			PROFONDITA': 106m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 50m a sud-ovest			SOGGIACENZA FALDA: 28m da p.c. (1975)		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷41.60	Argilla	5	57.20÷62.40	argilla
2	41.60÷46.80	ghiaia	6	62.40÷72.80	Sabbia acquifera
3	46.80÷52	Argilla	7	72.80÷106	Argilla e sabbia
4	52÷57.20	sabbia	-	-	-

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 5.1f – *Principali caratteristiche della prova con ID RER 221100P046 (6 in Figura14) eseguita al contorno del sito (Fonte: Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli; cartografia ed indagini geognostiche on-line.).*

SPECIFICHE PROVA					
ID RER: 221100P046; riferimento Figura 15: 6					
QUOTA: 72.9m slm			USO: SONDAGGIO A DISTRUZIONE		
DATA DI ESECUZIONE: 01/01/78			PROFONDITA': 25m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 120m a nord			SOGGIACENZA FALDA: -		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷2	Terreno agrario limoso-argilloso	5	10÷11	Sabbia a grana media
2	2.÷5	Ghiaia poligenica	6	11÷14.6	Ghiaia poligenica in matrice prevalentemente sabbiosa alternata ad argille limose
3	5÷7	Limo sabbioso e argilloso	7	14.6÷17	Argilla limosa
4	7÷10	Sabbia limosa giallastra	8	17÷25	Ghiaia poligenica da piccola a media pezzatura

5.3 PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DEL COMPARTO ANS C.3 (sub c/d)

Nel maggio 2012 è stata presentata la relazione geologica e sismica a firma del Dott. Geol. Valeriano Franchi, per il comparto ANS3.C (sub c/d), dove è prevista la realizzazione di una scuola con annessa palestra; tale area confina con quella d'indagine del presente lavoro da nord fino a sud est.

Per la caratterizzazione di tale sito sono state eseguite le seguenti indagini (Figura16):

- n°18 prove penetrometriche a punta meccanica CPT;
- n°1 sondaggio a carotaggio continuo fino a 30m da p.c.;
- n° 2 indagini geofisiche attive del tipo MASW;
- n°2 indagini geofisica passiva del tipo HVSR.

Per quanto concerne le indagini utili alla determinazione del modello preliminare del sito, si farà riferimento alle prove CPT 10 e 11, al sondaggio a carotaggio continuo S1 ed alle indagini geofisiche; in merito a queste ultime i risultati ottenuti sono

discussi nella Relazione sulla modellazione sismica che segue la presente ed a cui si rimanda.

In Tabella 5.2 si riporta la stratigrafia del sondaggio S1 eseguito a carotaggio continuo fino a 30m da p.c., mentre nelle Tabelle 5.3a e 5.3b si riportano rispettivamente i dati ottenuti dalle prove CPT10 e CPT11, l'interpretazione litologica e la stima dei principali parametri fisico-meccanici; per un maggiore dettaglio, i certificati di tali prove sono consultabili in Allegato.

Nel sondaggio S1 a carotaggio continuo è stata inoltre eseguita una prova SPT tra 5.50÷5.90m da p.c. che ha restituito i seguenti valori: $N_1=43$; $N_2=65$; $N_3=35$.

Il livello della falda misurato nel foro al termine della perforazione è risultato essere pari a 23.07m da p.c.

Dalla colonna stratigrafica del sondaggio S1, posto a circa 350m a nord est dall'area d'interesse, emerge come nella zona sia presente un *pattern* stratigrafico in cui dopo i 5m di limi argillosi superficiali è presente un'alternanza di ghiaie talora sabbiose e limi argillosi.

Per quanto riguarda invece le prove penetrometriche CPT10 e CPT11, attigue al confine nord dell'area d'indagine, si può notare come a differenza del sondaggio S1 posto più a nord, lo spessore del terreno limoso argilloso superficiale sia inferiore passando da 5m a circa 3m

Al di sotto di questo primo orizzonte si incontrano le ghiaie addensate come dimostrano i valori di resistenza alla punta R_p in entrambe le prove in cui passano da valori pari a 38-50kg/cm² per i limi argillosi e sabbiosi superficiali a 550kg/cm² per la presenza delle ghiaie sottostanti.

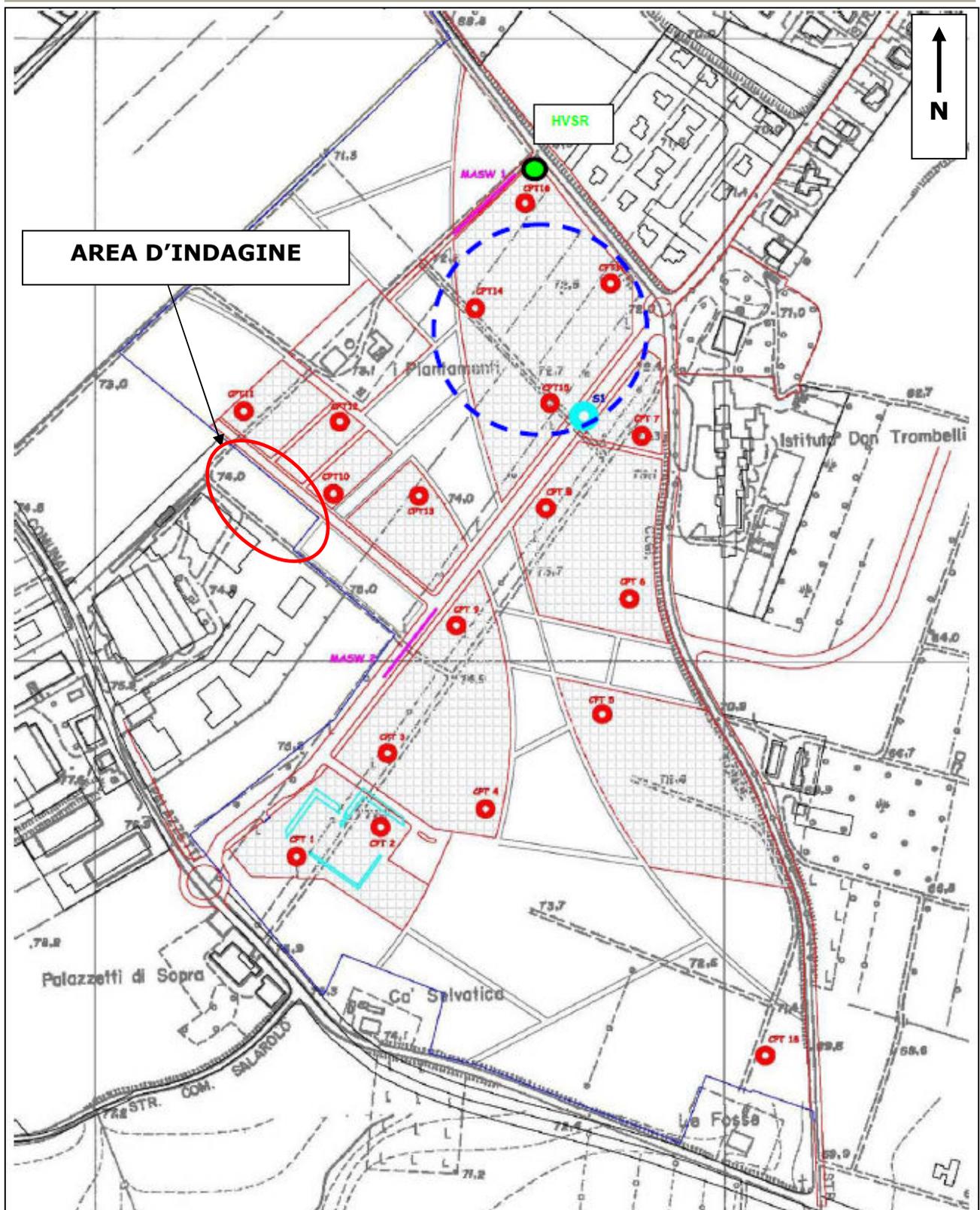


Figura 16 – Ubicazione area comparto ANS C.3 (sub c/d) e relative indagini per la sua caratterizzazione geologica e sismica rispetto a quella d'indagine del presente lavoro, non in scala (Fonte: Relazione geologica e sismica per il comparto ANS3.C (sub c/d) redatta dal Dott. Geol. Valeriano Franchi dicembre 2011, mod.). Il tondo tratteggiato blu indica l'ubicazione prevista per la scuola.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 5.2 – Stratigrafia e caratteristiche del sondaggio S1 eseguito a carotaggio continuo nel comparto C.3 (sub c/d) (Fonte: Relazione geologica e sismica Dott. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

SPECIFICHE PROVA					
QUOTA: circa 72.7m slm			TIPO DI PROVA: carotaggio continuo		
DATA DI ESECUZIONE: 07/05/2010			PROFONDITA': 30m da p.c.		
DISTANZA DALL'AREA D'INDAGINE: 230m a est			SOGGIACENZA FALDA: 23m da p.c.		
RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA					
ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	ORIZZONTE	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
1	0÷1.95	Limo argilloso di colore marrone chiaro con alcuni calcinelli e con alcuni livelli millimetrici sabbiosi	6	9.90÷18.00	Ghiaia media - grossa, arrotondata, in matrice sabbiosa di colore marrone chiaro - giallo
2	1.95÷4.95	Limo sabbioso di colore marrone chiaro con alcuni livelli centimetrici argillosi	7	18.00÷23.00	Limo argilloso di colore grigio con striature nere, giallastre e con calcinelli
3	4.95÷7.20	Ghiaia media - grossa, arrotondata, in matrice sabbiosa di colore grigio	8	23.00÷24.50	Ghiaia media - grossa, arrotondata, in matrice sabbiosa di colore grigio - giallo
4	7.20÷8.35	Alternanza di limo argilloso di colore marrone chiaro e striature nere e giallastre e sabbia limosa marrone chiaro e giallo	9	24.50÷25.60	Sabbia media - grossa di colore grigio - giallo, giallastra da - 24.90 m
5	8.35÷9.90	Sabbia limosa di colore giallo e marrone chiaro	10	25.60÷30.00	Ghiaia media - grossa, arrotondata, in matrice sabbiosa di colore giallo - grigio

Tabella 5.3a – Valori di resistenza alla punta R_p , di attrito laterale R_L , del rapporto di frizione R_p/R_L , ottenuti dalla prove CPT10 eseguita nel comparto ANS C.3 (sub c/d) bordante il confine nord dell'area d'indagine e relativa interpretazione stratigrafica e stima dei principali parametri fisico-meccanici (Fonte: Relazione geologica e sismica Dott. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

PROFONDITA' (m da p.c.)	R_p (kg/cm ²)	R_L (kg/cm ²)	R_p/R_L	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA	STIMA DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI ^(*)			
					γ (t/m ³)	c_u (kg/cm ²)	ϕ (°)	M_o (kg/cm ²)
0.00÷0.60	--	--	--	Terreno superficiale alterato	--	--	--	--
0.80	16	0.53	30.00	Argilla compatta	1.98	1.09	--	65.62
1.00	28	1.33	21.00					
1.20	22	1.73	12.69					
1.40	26	1.47	17.73					

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

1.60	28	1.60	17.50	Limi argillosi	2.08	2.35	37.8	70.55
1.80	48	1.60	30.00					
2.00	40	2.00	20.00					
2.20	40	2.27	17.65					
2.40	56	1.87	30.00					
2.60	48	1.87	25.71					
2.80	48	2.13	22.50	Ghiaia addensata	2.00	--	42.0	750.62
3.00	500	-	-					

Tabella 5.3b – Valori di resistenza alla punta R_p , di attrito laterale R_L , del rapporto di frizione R_p/R_L , ottenuti dalla prove CPT11 eseguita nel comparto ANS C.3 (sub c/d) bordante il confine nord dell'area d'indagine e relativa interpretazione stratigrafica e stima dei principali parametri fisico-meccanici (Fonte: Relazione geologica e sismica Dott. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

PROFONDITA' (m da p.c.)	R_p (kg/cm ²)	R_L (kg/cm ²)	R_p/R_L	INTERPRETAZIONE STRAIGRAFICA	STIMA DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO-MECCANICI MEDI(*)			
					γ (t/m ³)	c_u (kg/cm ²)	ϕ (°)	M_o (kg/cm ²)
0.00÷0.60	--	--	--	Terreno superficiale alterato	--	--	--	--
0.80	12	0.53	22.50	Argille limose	1.84	0.61	38	36.41
1.00	16	0.53	30.00	Argille limose	2.03	1.57	36.8	93.98
1.20	28	0.27	105.00					
1.40	36	1.20	30.00					
1.60	36	1.60	22.50					
1.80	34	1.20	28.33					
2.00	28	1.20	23.33					
2.20	24	1.33	18.00					
2.40	32	1.47	21.82					
2.60	30	1.33	22.50					
2.80	150	-	-	Ghiaie addensate	2.00	--	42	488.12
3.00	500	-	-					

(*) Dove:

- γ (t/m³): peso dell'unità di volume del terreno;
- c_u (kg/cm²): coesione non drenata nei terreni coesivi. Correlazione di De Beer;
- ϕ (°): angolo di attrito interno efficace per terreni granulari. E' stata considerata la correlazione di Meyerhof, 1951;
- M_o (kg/cm²): modulo di deformazione edometrico per argille compatte. Si fa riferimento alla relazione di Bismann e Sanglerat.

5.4 RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAPANNONE INDUSTRIALE

Nel giugno 1987, per la realizzazione del capannone industriale della Ditta A. Da Corte Snc in un'area che borda il confine meridionale di quella in oggetto, sono stati

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

effettuati n°3 sondaggi fino a 15 m da p.c. e prelevati n°4 campioni per eseguire prove di laboratorio geotecnico.

L'elaborato a cui si fa riferimento è stato redatto dal Dott. Geol. B. Ferri nel giugno 1987 ed è stato consegnato allo scrivente dall'Ing. Tugnoli che risulta essere il Progettista sia di suddetto capannone che dell'area in oggetto per il PUA.

In Tabella 5.4 sono riportate le specifiche delle indagini eseguite in sito e le relative stratigrafie, mentre in Tabella 5.5 i risultati delle prove di laboratorio.

Le ubicazioni di tali indagini rispetto all'area in oggetto sono riportate in Figura 17, mentre i certificati originali di tutte le indagini e prove eseguite per il progetto di realizzazione del capannone industriale sono riportate in Allegato.

Come si evince dalla Tabella 5.4 tutti e tre i sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza di terreni sabbiosi limoso-argillosi per circa 3m di spessore a cui seguono materiali granulari incoerenti del tipo ciottoli in matrice sabbiosa; in tutti e tre i casi non è stata rilevata la presenza di acqua.

Tabella 5.4 – Specifiche delle indagini eseguite in sito per la realizzazione di un capannone industriale e relative stratigrafie (Fonte: Relazione geologica-geotecnica Dott. Geol. B. Ferri, giugno 1987).

ID PROVA: S1		ID PROVA: S2		ID PROVA: S3	
PROFONDITA' RAGGIUNTA: 15 m da p.c.		PROFONDITA' RAGGIUNTA: 15m da p.c.		PROFONDITA' RAGGIUNTA: 15m da p.c.	
PRESENZA DI ACQUA: No		PRESENZA DI ACQUA: No		PRESENZA DI ACQUA: No	
STRATIGRAFIA		STRATIGRAFIA		STRATIGRAFIA	
PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
0÷2.80	Sabbia a grana fine giallo rossastra limosa, leggermente argillosa	0÷2.80	Sabbia a grana fine giallo rossastra limosa, leggermente argillosa	0÷2.80	Sabbia a grana fine giallo rossastra limosa, leggermente argillosa
2.80÷15.00	Ciottoli poligenici di piccole e medie dimensioni miste a sabbia ben gradata e ben assortita	2.80÷15.00	Ciottoli poligenici di piccole e medie dimensioni miste a sabbia ben gradata e ben assortita	2.80÷15.00	Ciottoli poligenici di piccole e medie dimensioni miste a sabbia ben gradata e ben assortita
CAMPIONI PRELEVATI: Campione 1 (1.80÷2.30)		CAMPIONI PRELEVATI: Campione 2 (1.70÷2.20)		CAMPIONI PRELEVATI: Campione 3 (1.50÷2.00); Campione 4 (2.80÷15.00)	

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 5.5 – Risultati delle prove di laboratorio geotecnico eseguite sui campioni prelevati (Fonte: Relazione geologica-geotecnica Dott. Geol. B. Ferri, giugno 1987, mod.).

PARAMETRO	CAMPIONE 1	CAMPIONE 2	CAMPIONE 3	CAMPIONE 4
Analisi granulometrica	Sabbia limosa leggermente argillosa (SC)	Sabbia limosa leggermente argillosa (SC)	Sabbia limosa leggermente argillosa (SC)	Ghiaia e sabbia (GW)
Limiti di Atterberg	LL: 28.32%; LP:17.09%	LL: 23.20%; LP:10.84%	LL: 26.85%; LP:15.63%	LL: -; LP:-
Indici	IP: 11.23%; IG:0	IP: 12.36%; IG:0	IP: 11.22%; IG:0	IP: - IG:0
Coesione non drenata, c_u (kg/cm ²)	0.585	0.623	0.571	-
Angolo di attrito interno non drenato, ϕ_u (°)	18	19	17	38
Peso di volume allo stato naturale, γ_n (gr/cm ³)	2.000	2.005	2.012	1.770
Umidità naturale, w (%)	16.34	15.43	16.52	6.45
Modulo Elastico, E (kg/cm ²)	88.0	107.2	100.0	225.0
Densità secca, γ_d (gr/cm ³)	1.719	1.736	1.726	1.662
Peso specifico dei grani, γ_s (gr/cm ³)	2.712	2.720	2.718	2.584
Indice dei pori, e	0.577	0.566	0.574	0.554
Porosità, n (%)	36.63	36.14	36.51	35.65
Umidità di saturazione, w_{sat} (%)	21.32	20.81	21.15	21.45
Grado di saturazione, S	0.766	0.741	0.781	0.300
Coefficiente di compressibilità volumetrica, m_v	0.0113	0.0093	0.0100	0.0044
Costante di sottofondo (k di winkler)	1.320	1.610	1.500	3.370
Classificazione AASHTO	A/2-4	A/2-4	A/2-4	A/1-B

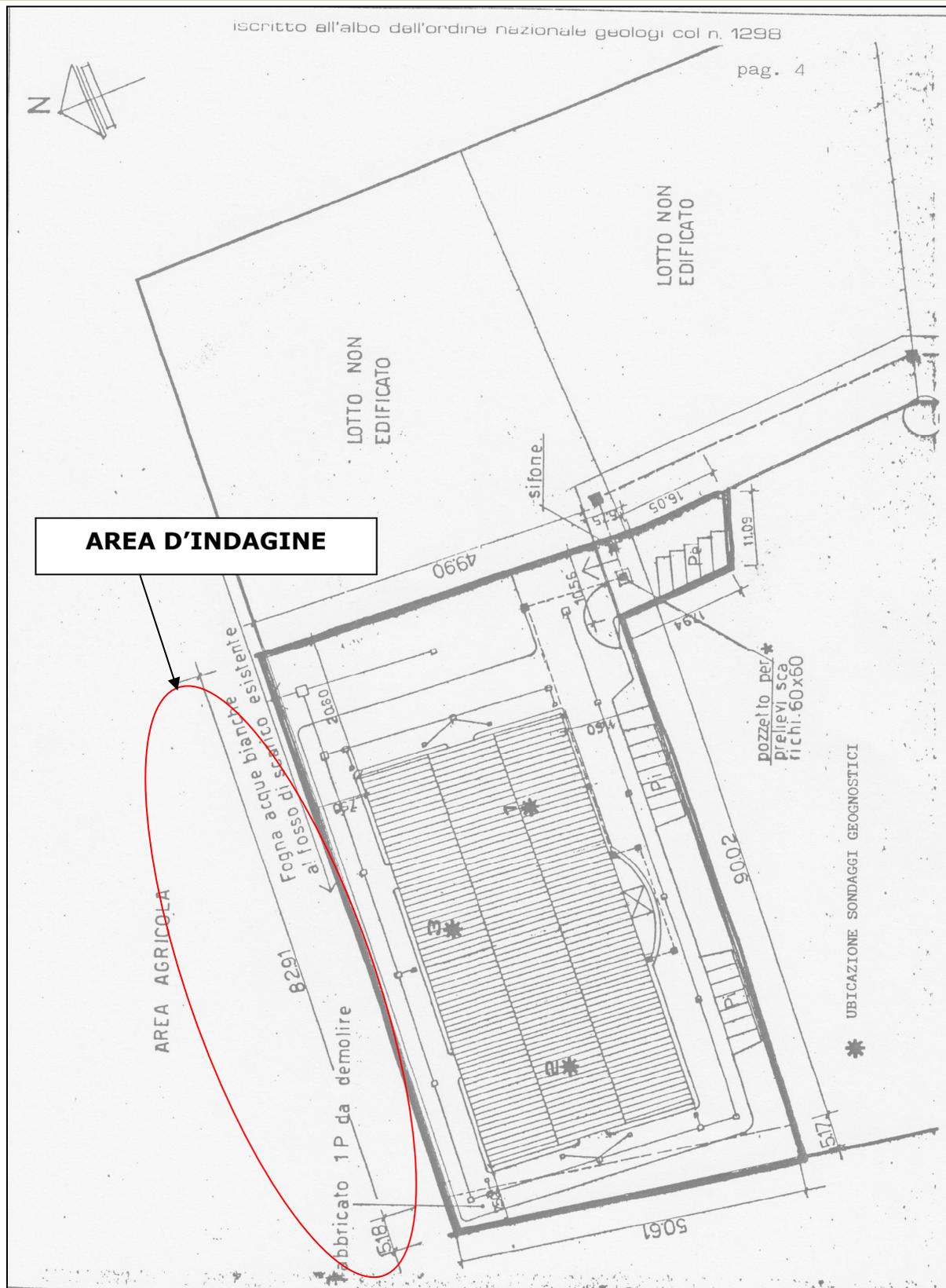


Figura 17 – Ubicazione delle indagini in sito per la realizzazione di un capannone industriale in via Palazzetti rispetto all'area d'indagine oggetto del presente lavoro, non in scala (Fonte: Relazione geologica-geotecnica redatta dal Dott. Geol. Bruno Ferri nel giugno 1987, mod.).

6. INDAGINI ESEGUITE IN SITO E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

6.1 PREMESSA

Al fine di ricostruire il primo sottosuolo dell'area oggetto del presente lavoro, nel marzo 2014 sono state eseguite le seguenti indagini in sito, di tipo geologico e sismico, e prove di laboratorio geotecnico, in particolare:

- n°3 prove penetrometriche a punta meccanica CPT;
- n°1 sondaggio a carotaggio continuo e n°3 prove in foro del tipo SPT a punta chiusa;
- n°1 indagine geofisica di tipo attivo mediante stendimento MASW;
- n°2 indagini geofisiche tipo passivo tramite misure HVSR;
- prelievo di n°1 campioni di terreno indisturbato da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico in corrispondenza della prova CPT2 ad una profondità compresa tra 1.00-1.600m da p.c. Il campione è stato denominato CPT2-C1;

Nei successivi paragrafi si discutono nel dettaglio le modalità esecutive delle indagini geologiche eseguite in sito e delle prove di laboratorio geotecnico; per quanto concerne le indagini geofisiche si rimanda alla Relazione sulla modellazione sismica riportata al termine del presente elaborato. Le ubicazioni di suddette prove rispetto all'interno dell'area in oggetto sono riportate in Figura 18; le foto di esecuzione delle medesime ed i relativi certificati sono invece riportati in Allegato.

6.2 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA (CPT)

Sulla superficie dell'area in oggetto, il 17 marzo 2014 sono state effettuate n°3 prove penetrometriche statiche a punta meccanica CPT con sonda Tecnofluid da 10t, denominate e spinte fino alle rispettive profondità di seguito riassunte:

- CPT1: ubicata nella porzione nord dell'area e spinta fino alla profondità pari a $z=2.80\text{m}$ da p.c.;
- CPT2: ubicata nella porzione centrale dell'area e spinta fino alla profondità pari a $z=3.00\text{m}$ da p.c.;
- CPT3: ubicata nella porzione meridionale dell'area e spinta fino alla profondità pari a $z=3.00\text{m}$ da p.c..

Nella prova CPT2 è stato prelevato un campione indisturbato di classe Q5 denominato CPT2-C1 alla profondità compresa tra 1.00÷1.60m da p.c. per prove di laboratorio geotecnico.

6.3 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO E PROVE SPT IN FORO

Al centro dell'area in oggetto nei giorni 21 e 24 marzo 2014 è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo, denominato S1, spinto fino alla profondità di 30m da p.c.; la perforazione è stata eseguita con Sonda Hydro Joy 3. Le carote sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in PVC da 5m cadauna, lungo ciascuna delle quali sono state eseguite le seguenti attività:

- esecuzione di *Pocket Penetrometer* e *Torvane*;
- rilievo stratigrafico ed organolettico delle carote;
- fotografia digitale di ciascuna cassetta catalogatrice con metro di riferimento e lavagna indicante Committente, identificazione sondaggio, profondità, data e luogo di esecuzione.

All'interno del foro di sondaggio sono state eseguite n° 3 prove SPT a punta chiusa denominate ed ubicate rispettivamente alle seguenti profondità:

- SPT1 z=4.50÷4.95m da p.c.;
- SPT2 z=9.50÷9.95m da p.c.;
- SPT3 z=18.50÷18.95m da p.c.

6.4 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Nell'area d'indagine è stato prelevato n°1 campione di terreno indisturbato di classe Q5, in corrispondenza della prova CPT2 ad una profondità compresa tra 1.00÷1.60m da p.c.; le prove sono state effettuate da un Laboratorio geotecnico certificato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Sul campione prelevato sono state effettuate le seguenti prove:

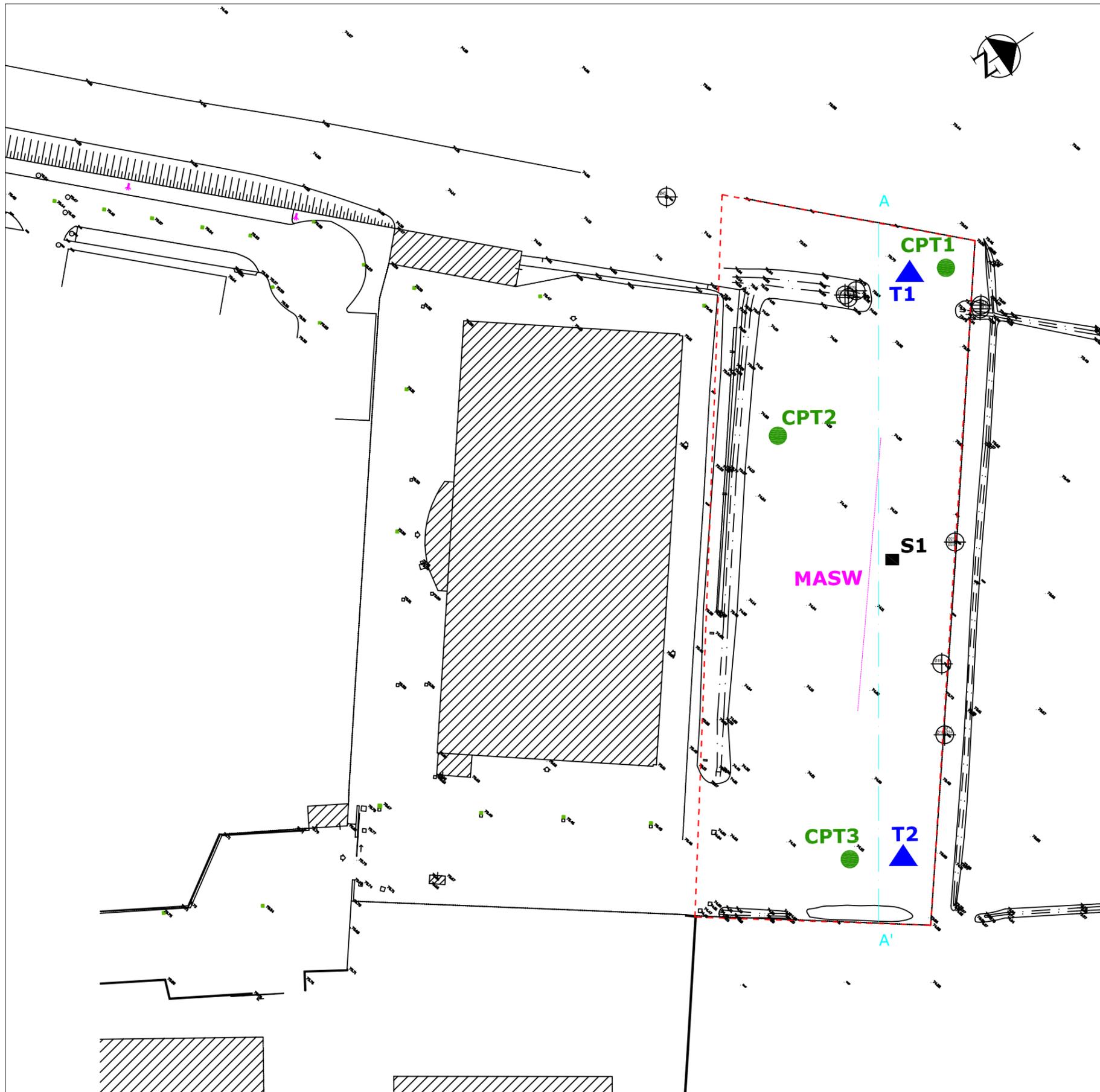
- determinazione del peso dell'unità di volume secco;
- determinazione del peso dell'unità di volume saturo;
- determinazione del contenuto in acqua iniziale;
- *Pocket Penetrometer*;
- *Torvane*;
- prova di Taglio Diretto in scatola di Casagrande Consolidata e Drenata (TD-CD).

PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
- PUA -
COMPARTO ASP.C.r

RELAZIONE GEOLOGICA
(ai sensi del D.M. 14-01-08)

UBICAZIONE INDAGINI IN SITO



Legenda

- CPT1** ● = Prova penetrometrica a punta meccanica
- S1** ■ = Sondaggio a carotaggio continuo
- T1** ▲ = Indagine geofisica passiva HVSR
- MASW** | = Indagine geofisica attiva MASW
- A** — **A'** = Traccia modello geologico di Figura 19
- ▨ = Edifici esistenti non oggetto del presente lavoro
- = Area di proprietà della Finda Srl soggetta a PUA

SCALA 1:600

FIGURA 18

7. RISULTATI OTTENUTI

Le prove CPT hanno restituito un *pattern* stratigrafico molto simile tra loro come riassunto in Tabella 7.1; in generale si assiste ad un aumento dei valori di resistenza alla punta q_c e di attrito laterale f_s con la profondità.

In particolare, al di sotto di un orizzonte superficiale costituito da terreno vegetale misto a detriti da costruzione quali mattoni e/o piastrelle dello spessore di circa 0.30÷0.40m, secondo l'interpretazione stratigrafica di Schmertmann (1978), è stata rilevata la presenza di terreni a comportamento prevalentemente coesivo caratterizzati da argilla inorganica compatta alternata ad orizzonti sempre argillosi ma più limosi e/o sabbiosi a comportamento più incoerente-coesivo, fino alla profondità di circa 2.60m da p.c.

Oltre tale profondità è stata riscontrata la presenza di una terza unità litologica in cui i valori di resistenza alla punta $q_c > 200 \text{kg/cm}^2$ per la presenza di ghiaie in matrice sabbiosa; non è pertanto stato possibile proseguire le prove in quanto le trivelle di immorsamento al terreno si sono disancorate. Per quanto riguarda l'unità litologica argillosa compatta a tratti limoso-sabbiosa i valori medi di resistenza alla punta q_c e di attrito laterale risultano rispettivamente pari a:

- $q_{cmed,CPT1} = 19.17 \text{kg/cm}^2$ e $f_{smed,CPT1} = 0.92 \text{kg/cm}^2$;
- $q_{cmed,CPT2} = 24.55 \text{kg/cm}^2$ e $f_{smed,CPT2} = 1.13 \text{kg/cm}^2$;
- $q_{cmed,CPT3} = 39.18 \text{kg/cm}^2$ e $f_{smed,CPT3} = 1.90 \text{kg/cm}^2$.

Da tali dati si evince come passando dalla prova CPT1 alla CPT3 i valori medi di resistenza alla punta q_c e quelli di attrito laterale f_s aumentino per un aumento della presenza di litologie più sabbiose passando dalla parte NNE a quella SSW dell'area d'indagine.

Il sondaggio S1 eseguito a carotaggio continuo e spinto fino a 30m da p.c., ha restituito una stratigrafia locale caratterizzata dall'alternanza di limi argillosi ed argille limose con sabbie e ghiaie entrambe da fini a grossolane e ciottoli. In Tabella 7.2 si riassumono le informazioni ricavate dalla stratigrafia, ed i valori delle prove SPT effettuate in foro; le foto delle cassette catalogatrici ed il report stratigrafico di dettaglio sono riportati in Allegato.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Come risulta dalle CPT, la stratigrafia diretta conferma che nei primi metri sono presenti litologie medio fini limoso-argillose e sabbiose fino a circa 2.50m da p.c.; a partire da tale profondità sono presenti le ghiaie in matrice sabbiosa.

In generale si può asserire che fino a circa 15m da p.c. si alternino costantemente le litologie fini limoso-argillose con quelle più grossolane sabbioso-ghiaiose; a partire da suddetta profondità e fino a 30m da p.c. gli orizzonti ghiaiosi grossolani in matrice sabbiosa prevalgono nettamente su quelli limoso argillosi. All'interno del foro una volta terminata la perforazione, è stato rilevato un livello di falda di circa 22m da p.c.

Tabella 7.1– Risultati delle prove CPT1, CPT2 e CPT3 eseguite nel sito d'indagine.

UNITA' LITOLOGICA	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA (Schmertmann, 1978)	PROFONDITA' (m da p.c.)	RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA ($q_{c,med}$ kg/cm ²)			ATTRITO LATERALE MEDIO ($f_{s,med}$ kg/cm ²)			COMPORTAMENTO GEOTECNICO PREVALENTE
			CPT1	CPT2	CPT3	CPT1	CPT2	CPT3	
			A	Terreno vegetale	0.00÷0.40	-	-	-	
B	Argilla inorganica compatta limosa e sabbiosa	0.40÷2.60	19.17	24.55	39.18	0.92	1.13	1.90	Coesivo e incoerente-coesivo
C	Ghiaia in matrice sabbiosa	>2.60	280.41	300.41	300.41	-	-	-	incoerente

Tabella 7.2– Stratigrafia del Sondaggio S1 e valori SPT delle prove eseguite in foro.

PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA	PROFONDITA' (m da p.c.)	LITOLOGIA
0.00÷0.30	Terreno vegetale	15.00÷16.00	Ghiaia grossolana
0.30÷1.80	Limo argilloso debolmente sabbioso	16.00÷16.40	Sabbia fine e media
1.80÷2.50	Limo sabbioso passante a sabbia con limo	16.40÷18.00	Argilla limosa e limo argilloso
2.50÷4.50	Ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa	18.00÷19.40	Ghiaia grossolana e ciottoli
4.50÷5.30	Sabbia fine e media	19.40÷19.80	Sabbia fine limosa
5.30÷6.00	Limo argilloso ed argilla limosa	19.80÷22.00	Limo argilloso
6.00÷9.50	Sabbia sciolta	22.00÷23.00	Sabbia fine limosa
9.50÷13.40	Ghiaia da media a grossolana	23.00÷23.50	Ghiaia media
13.40÷14.30	Limo argilloso debolmente sabbioso	23.50÷24.00	Sabbia grossolana
14.30÷15.00	Sabbia fine e media	24.00÷30.00	Sabbia da fine a grossolana

- Livello di falda rilevato nella perforazione: 22m da p.c.;
- Esecuzione prove SPT a punta chiusa in foro: SPT1 (4.50÷4.95m da p.c.): N₁=3; N₂=9; N₃=10;
 SPT2 (9.50÷9.95m da p.c.): N₁=32; N₂=35; N₃=40;
 SPT3 (18.50÷18.95m da p.c.): N₁=20; N₂=34; N₃=34.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Dai dati di infissione della punta conica delle tre prove SPT, escludendo il primo valore N_1 e sommando gli altri due N_2 e N_3 , risulta quanto segue:

- $N_{SPT1} = 19$;
- $N_{SPT2} = 75$;
- $N_{SPT3} = 64$.

In merito alle prove di laboratorio geotecnico effettuate, in Tabella 7.3 si riassumono i risultati ottenuti.

Il campione prelevato in prossimità della prova CPT2 alla profondità compresa tra 1.00÷1.60m da p.c. denominato CPT2-C1, è costituito da limo argilloso con livelli debolmente sabbiosi; il grafico sforzi-deformazioni della la prova di Taglio Consolidata e Drenata ha evidenziato come si tratti di materiali coesivi normalconsolidati caratterizzati da una coesione pari a 24.57kPa e da un angolo di attrito interno $\varphi' = 26.71^\circ$.

Tabella 7.3 – Risultati delle prove di laboratorio geotecnico eseguite sul campione prelevato nell'area d'indagine.

ID CAMPIONE	CLASSE	PROFONDITA' (m da p.c.)	CARATTERISTICHE NATURALI		DESCRIZIONE CAMPIONE	PROVE PRELIMINARI		PROVA DI TAGLIO DIRETTO CD	
			DENSITA' NATURALE E SECCA INIZIALI (γ_{nr} γ_{dr} kN/m ³)	UMIDITA' INZIALE (w,%)		P.P. (kg/cm ²)	T.V. (kg/cm ²)	COESIONE EFFICACE (c', kPa)	ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (φ , °)
CPT2-C1	Q5	1.00÷1.60	19.76; 15.93	23.99	Limo argilloso con livelli debolmente sabbiosi	3.7-3.3-2.5	>1	24.57	26.71

8. MODELLAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA D'INDAGINE E STIMA DEI PRINCIPALI PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEL PRIMO SOTTOSUOLO

In una prima fase del presente lavoro, per la definizione di un modello geologico preliminare di scala generale si è proceduto con l'analisi delle indagini CPT, dei sondaggi e dei pozzi eseguiti al contorno del sito.

Successivamente per la ricostruzione del sottosuolo dell'area d'indagine si è passati all'esecuzione di indagini nel sito oggetto del presente lavoro; le prove CPT eseguite sono state spinte fino alla massima profondità di avanzamento possibile pari a circa 2.60m da p.c.; per indagare il sottosuolo più in profondità ci si è pertanto avvalsi della stratigrafia di un sondaggio a carotaggio continuo S1 eseguito nella medesima area e spinto fino alla profondità di 30m da p.c.

Dall'analisi dei dati ottenuti sia a scala generale che a scala locale è pertanto ora possibile definire un modello geologico di dettaglio dell'area d'indagine, le litologie prevalenti rinvenute ed i parametri fisico-meccanici dei terreni del sottosuolo restituiti in forma disaggregata; questi ultimi sono stati ricavati mediante le prove di laboratorio geotecnico e l'interpretazione delle prove CPT con correlazioni empiriche per gli orizzonti superficiali, tramite le prove SPT, le correlazioni empiriche ed i dati di letteratura per i litotipi discretizzati più profondi.

In Figura 19 è riportato il modello geologico proposto per il sito d'indagine con le Unità litologiche discretizzate; in Tabella 8.1 sono elencati i riferimenti bibliografici a cui si è fatto riferimento per la determinazione indiretta dei parametri fisico-meccanici di suddette Unità descritte in dettaglio in Tabella 8.2.

In sostanza risulta un *pattern* stratigrafico caratterizzato da un'alternanza di litologie fini limoso-argillose con quelle più grossolane sabbioso ghiaiose tipiche di ambiente di conoide alluvionale nella sua porzione medio-apicale; gli orizzonti ghiaiosi aumentano di spessore e frequenza con la profondità a partire da circa 15m da p.c.

Gli orizzonti argillosi e limosi sono caratterizzati da buona consistenza e quelli ghiaiosi da elevato grado di addensamento.

Viene confermata l'informazione ricavata dalle tavole dei Piani Normativi Sovraordinati secondo le quali dal punto di vista idrogeologico queste aree presentano

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

i primi orizzonti granulari insaturi in quanto il livello di falda misurato in foro è stato rilevato a 22m da p.c.

Tabella 8.1 – Riferimenti dei parametri fisico-meccanici in forma disaggregata di Tabella 8.2.

ID	AUTORI
(1)	Hunt, 1984; Kezdi, 1978
(2)	Mayne & Stewart, 1984; Skempton 1964
(3)	Sivrokaya & Togol, 2007
(4)	Stima parametri fisico-meccanici da prove CPT
(5)	Hunt, 1984; Bowles 1978
(6)	Navfac, 1982; AASHTO, 2007; Bowles, 1982
(7)	Elaborazione dati prova SPT

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 8.2 – Modello geologico dell'area d'indagine e relativi parametri fisico meccanici restituiti in forma disaggregata.

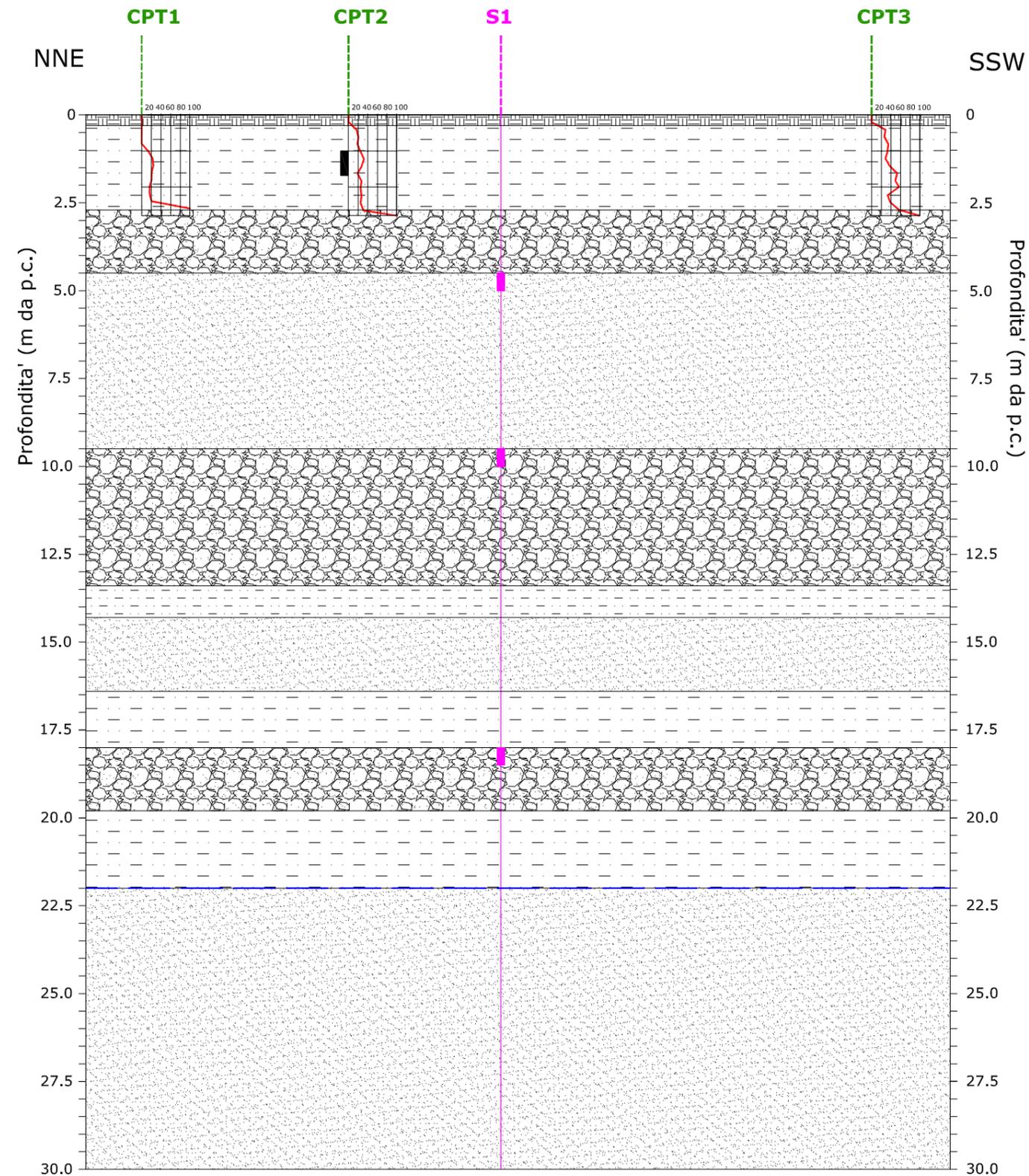
UNITA'	PROFONDITA' (m da p.c.)	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA (Schmertmann, 1978)	PARAMETRI FISICO-MECCANICI IN FORMA DISAGGREGATA							MODULO EDOMETRICO (E_{ED} , kg/cm ²)
			PESO DELL'UNITA' DI VOLUME NATURALE (γ , kN/m ³)	PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SATURO (γ_{sat} , kN/m ³)	COESIONE EFFICACE (c' , kPa)	COESIONE NON DRENATA (c_u , kPa)	ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (ϕ' , °)	MODULO ELASTICO (E , kPa)	MODULO ELASTICO NON DRENATO (E_u , kg/cm ²)	
A	0.00÷0.30	Terreno vegetale	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.30÷2.50	Limo argilloso a tratti limo sabbioso marrone chiaro consistente	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷96 ⁽³⁾ ; 92÷300 ⁽⁴⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400÷10000 ⁽⁶⁾	CPT1: 492÷906, valore medio: 716; CPT2: 714÷1166, valore medio: 900; CPT3: 978÷2097, valore medio: 1551	CPT1: 44÷48, valore medio: 45 (4413kPa); CPT2: 43÷60, valore medio: 51 (5001kPa) CPT3: 52÷112, valore medio: 83 (8139kPa)
			<i>Prove di laboratorio geotecnico eseguite sul campione CPT2-C1 (z=1.00÷1.60m da p.c.)</i> $\gamma=19.75\text{kN/m}^3$; $\gamma_d=15.93\text{kN/m}^3$; $w=23.99\%$ P.P.: 2.5-3.7kg/cm ² ; T.V.: >1kg/cm ² ; $c'=24.57\text{kPa}$; $\phi'=26.71^\circ$							
C	2.50÷4.50	Ghiaia da fine a grossolana sciolta in matrice sabbiosa	17.7÷20.0 ⁽¹⁾	18.9÷19.85 ⁽¹⁾	-	-	34÷36 ⁽⁵⁾	8000÷19500 ⁽⁶⁾	-	-
D	4.50÷9.50	Sabbia da fine a media sciolta marrone chiaro a tratti limosa	14.8÷16.8 ⁽¹⁾	15.3÷17.5 ⁽¹⁾	-	-	32÷34 ⁽⁵⁾ 36 ⁽⁷⁾	6700÷16000 ⁽⁶⁾	-	-
E	9.50÷13.40	Ghiaia da media a grossolana in matrice sabbiosa mediamente addensata	20.0÷21.4 ⁽¹⁾	18.85÷20.8 ⁽¹⁾	-	-	36÷37 ⁽⁵⁾ 46 ⁽⁷⁾	19500÷59800 ⁽⁶⁾	-	-
F	13.40÷14.30	Limo argilloso debolmente sabbioso mediamente consistente	17.0÷18.0 ⁽¹⁾	17.5÷18.5 ⁽¹⁾	13 ⁽²⁾	25÷50 ⁽³⁾	31÷32 ⁽⁵⁾	2700÷5400 ⁽⁶⁾	-	-
G	14.30÷16.40	Sabbia da fine a grossolana e ghiaia grossolana con ciottoli sparsi	16.0÷18.1 ⁽¹⁾	16.5÷18.5 ⁽¹⁾	-	-	32-34 ⁽⁵⁾	16600÷51000 ⁽⁶⁾	-	-
H	16.40÷18.00	Limo argilloso ed argilla limosa consistenti	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷95 ⁽³⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400-10000 ⁽⁶⁾	-	-
I	18.00÷19.80	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa	20.5÷21.5 ⁽¹⁾	21.2÷22.25 ⁽¹⁾	-	-	36÷38 ⁽⁵⁾ 42 ⁽⁷⁾	19500÷59800 ⁽⁶⁾	-	-
L	19.80÷22.00	Limo argilloso marrone chiaro e grigio consistente	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷95 ⁽³⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400-10000 ⁽⁶⁾	-	-
M	22.00÷30.00	Sabbia da fine a grossolana addensata	16.0÷18.1 ⁽¹⁾	16.5÷18.5 ⁽¹⁾	-	-	32-34 ⁽⁵⁾	16600÷51000 ⁽⁶⁾	-	-

Livello di falda misurato al termine del sondaggio S1: 22m da p.c.

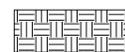
A

SCALA VERTICALE 1:150
SCALA ORIZZONTALE 1:600

A'



DESCRIZIONE UNITA' LITOLOGICHE



= Terreno vegetale



= Limo argilloso e sabbioso



= Ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa



= Sabbia da fine a grossolana

PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
- PUA -
COMPARTO ASP.C.r

RELAZIONE GEOLOGICA
(ai sensi del D.M. 14-01-08)

MODELLO GEOLOGICO DELL'AREA
D'INDAGINE

Legenda

S1

= Sondaggio a carotaggio continuo

CPT1

= Prova penetrometrica a punta meccanica

= Profilo resistenza alla punta qc (valori in kg/cm²)

A

A' = Traccia della sezione di Figura 18



= Livello di falda rilevato all'interno del sondaggio S1



= Prelievo campione indisturbato CPT2-C1 (1.00÷1.60m da p.c.) per prove di laboratorio geotecniche



= Esecuzione prove SPT in foro

FIGURA 19

9. CONCLUSIONI

Nel mese di marzo 2014 la Finda Srl, con sede in via Rubbiani 6/2 a Bologna, ha incaricato lo scrivente di eseguire delle indagini geologiche in sito e di redigere la presente Relazione Geologica ai sensi del D.M. 14-01-08 per caratterizzare il sottosuolo di un terreno di sua proprietà, ubicato in via Palazzetti nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO); tale terreno affinché possa essere dichiarato edificabile dall'autorità comunale deve essere sottoposto alla procedura di approvazione di un Piano Urbanistico Attuativo (PUA) del comparto ASP.C.r.

Nel mese di marzo 2014 sono state effettuate le seguenti attività:

- n°3 prove CPT con punta meccanica denominate CPT1, CPT2 e CPT3 spinte alla profondità media di circa 2.60m da p.c.;
- n°1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S1 e spinto fino a 30m da p.c.;
- n°3 SPT in foro con punta conica eseguite all'interno del sondaggio S1 a differenti profondità allo scopo di caratterizzare i litotipi granulari;
- prelievo di n°1 campione di terreno indisturbato da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico per la determinazione dei principali parametri fisico-meccanici.

L'analisi dei Piani Normativi sovraordinati quali P.S.A.I., P.S.C. e P.T.C.P. non ha evidenziato particolari pericolosità di tipo geologico e/o idrogeologico; dalla cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna è emerso come i terreni appartengano al dominio continentale di età quaternaria del Subsistema AES8a Unità di Ravenna.

Le prove effettuate dallo scrivente, unitamente a quelle realizzate al contorno del sito per la redazione del PSC del Comune di San Lazzaro ed a quelle per il Piano Urbanistico Attuativo di un'area attigua a quella in oggetto, hanno permesso di ricostruire il modello geologico dell'area d'indagine

I parametri fisico-meccanici degli orizzonti litologici individuati, restituiti in forma disaggregata, sono stati ricavati da apposite indagini di laboratorio geotecnico oltre che dall'interpretazione mediante correlazioni empiriche delle prove CPT e SPT eseguite in sito e da dati bibliografici.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Si tratta di una zona di alta pianura con acclività nulla e quote assolute comprese tra 78÷79m slm; i terreni superficiali fino a circa 2.60m da p.c. sono costituiti da limi argillosi e sabbiosi normalconsolidati con comportamento prevalente coesivo o incoerente coesivo, consistenti e dalle buone qualità fisico-meccaniche.

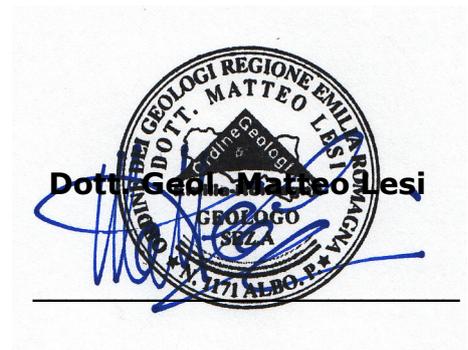
A partire da circa 2.60m da p.c. sono state rinvenute le ghiaie sabbiose in matrice sabbiosa ad elevato grado di addensamento appartenenti alla conoide del Torrente Idice.

Tali terreni granulari si alternano a livelli sabbiosi da fini a grossolani anch'essi addensati e limoso argillosi consistenti, con le prime due litologie granulari a comportamento incoerente che aumentano di competenza con l'aumentare della profondità rispetto a quella limoso argillosa a comportamento coesivo.

La maggior parte del sottosuolo indagato è risultato essere insaturo; il livello misurato all'interno del foro di sondaggio al termine della perforazione ha restituito una soggiacenza della falda di circa 22m da p.c.

In base a quanto ricavato dall'analisi delle informazioni acquisite dato che la zona indagata non presenta particolari pericolosità geologiche, si ritiene che il sottosuolo sia idoneo alla realizzazione di edifici e strutture date le buone caratteristiche fisico-meccaniche riscontrate..

Sasso Marconi (BO), aprile 2014



RELAZIONE GEOLOGICA
(ai sensi del D.M.14-01-08)

ALLEGATO

- FOTO ESECUZIONE INDAGINI IN SITO;
- REPORT INDAGINI CPT;
- STRATIGRAFIA SONDAGGIO S1;
- CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO;
- CERTIFICATI DELLE INDAGINI PREGRESSE ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO

Sasso Marconi (BO), aprile 2014





FOTO 1 – ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA CPT1.

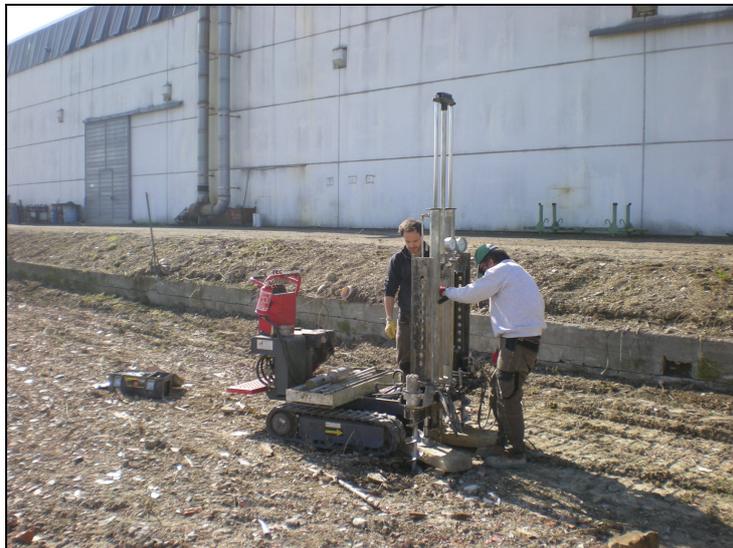


FOTO 2 – ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA CPT2.



FOTO 3 – ESECUZIONE PROVA PENETROMETRICA CPT3.



FOTO 4 – ESECUZIONE SONDAGGIO A CAROTTAGGIO CONTINUO S1.



FOTO 5 – ESEMPIO DI ESECUZIONE SPT NEL SONDAGGIO S1 (SPT1: 4.50-4.95M DA P.C.).



FOTO 6 – CASSETTA S1 DA 0.00÷5.00M DA P.C.



FOTO 7 – CASSETTA S1 DA 5.00÷10.00M DA P.C.



FOTO 8 – CASSETTA S1 DA 10.00÷15.00M DA P.C.



FOTO 9 – CASSETTA S1 DA 15.00÷20.00M DA P.C.

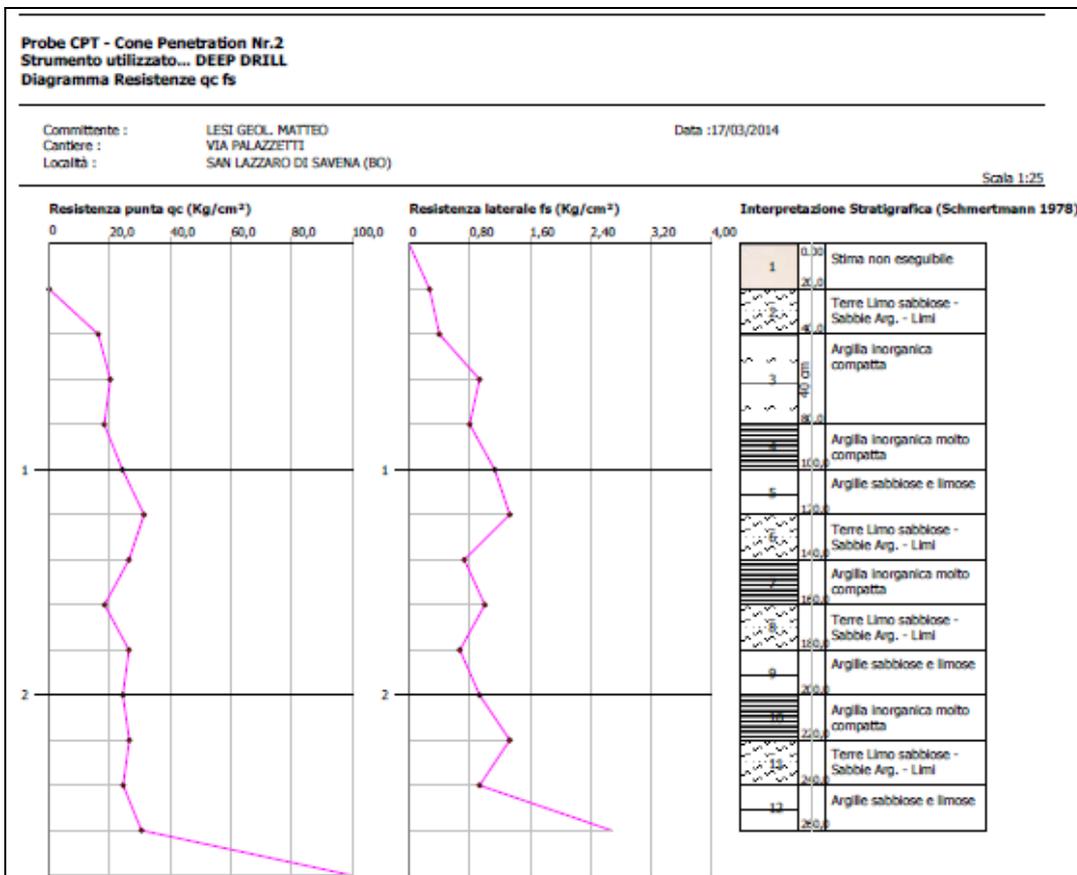
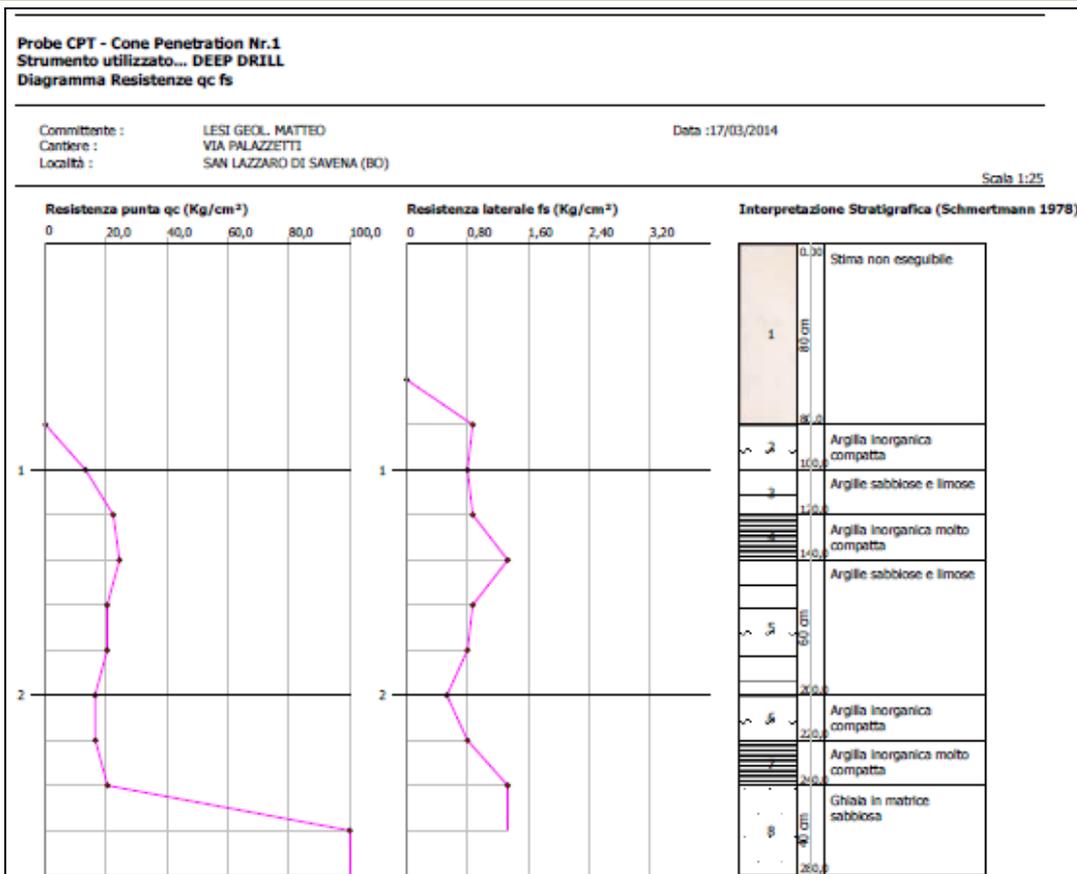


FOTO 10 – CASSETTA S1 DA 20.00÷25.00M DA P.C.

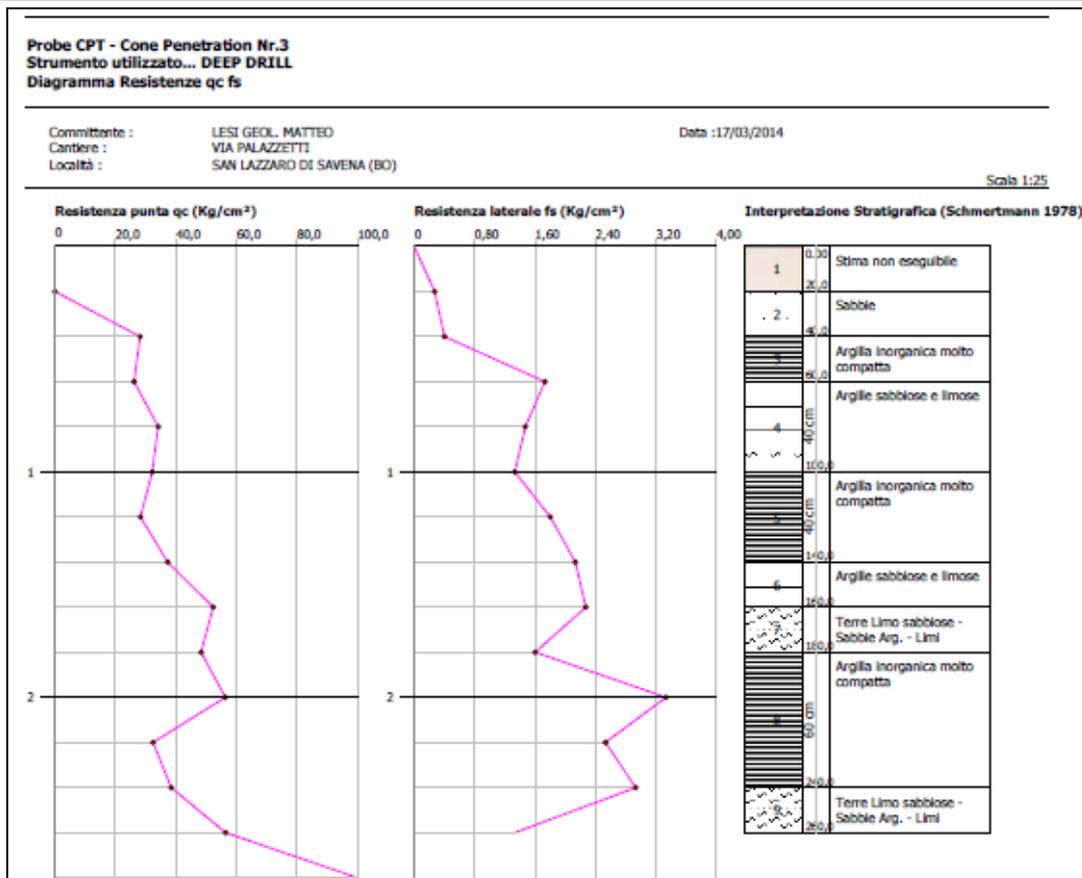


FOTO 11 – CASSETTA S1 DA 25.00÷30.00M DA P.C.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



DOTT. GEOL. MATTEO LESIGEOLOGIA AMBIENTALE GEOTECNICA
SISMICA IDROGEOLOGIA GEOTERMIAVIA LAGUNE 3 - 40037 SASSO MARCONI (BO)
TEL. 051/6755073 - CELL. 333/6415479
matteo.lesi@gmail.com - matteo.lesi@pec.it**SONDAGGIO S1**

COMMITTENTE: Finda Srl

PROFONDITA': 30m da p.c.

LOCALITA': Via Palazzetti San Lazzaro di Savena (BO)

INIZIO: 21/03/2014

PERFORATRICE: Hydra Joy 3

FINE: 24/03/2014

METODO DI PERFORAZIONE: Carotaggio continuo

PAGINA 1 DI 1

ATTREZZATURA: Rivestimento Ø127 mm; Carotire semplice Ø101mm

Profondita' (m da p.c.)	Pocket Penetrometer (kg/cm ²)	Torvane (kg/cm ²)	Profondita' (m da p.c.)	Stratigrafia	DESCRIZIONE	Campioni	S.P.T. (n. colpi)	Falda (m da p.c.)	Piezometro
1	2.8	>1	2.50		Terreno vegetale e riporto. Limo argilloso ed argilla limosa marrone chiaro e grigio scuro poco consistente. Radici, resti vegetali, materiale organico in decomposizione, laterizi e frammenti di ceramica centimetrici.				
	3.6	>1							
	4.6	>1							
	>6	>1							
	>6	>1							
2					Limo argilloso marrone chiaro e scuro molto consistente, a tratti limos abbiioso marrone chiaro.				
3									
4			4.50		Ghiaia poligenica da fine a grossolana sciolta da sub angolare a sub arrotondata in matrice sabbiosa grossolana.		4.50		
5			5.30		Sabbia da fine a media marrone chiaro debolmente limosa.		3-9-10		
	1.3	0.8					4.95		
6	2.0	0.6	6.00		Limo argilloso ed argilla limosa consistente marrone chiaro.				
7									
8					Sabbia addensata da fine a grossolana marrone chiaro.				
9			9.50				9.50		
10							32-35-40		
11					Ghiaia poligenica da media a grossolana molto addensata, da sub arrotondata ad arrotondata in matrice sabbiosa grossolana.		9.95		
12									
13	2.0	0.9	13.40						
14	1.3	0.6	14.30		Limo argilloso marrone chiaro consistente, a tratti debolmente sabbioso.				
15					Sabbia da fine a grossolana addensata, mista a ghiaia grossolana poligenica da subarrotondata ad arrotondata; sparsi ciottoli arrotondati.				
16	2.1	0.8	16.40						
17	1.6	0.4							
	2.2	>1							
18	1.9	0.8	18.00		Limo argilloso ed argilla limosa consistenti marrone chiaro e grigio-verde con livelli millimetrici sabbiosi e calcinelli millimetrici sparsi.				
19					Ghiaia grossolana e ciottoli poligenici addensati da sub angolari ad arrotondati in matrice sabbiosa grossolana marrone chiaro.		18.50		
							20-34-34		
20	1.5	0.5	19.80				18.95		
	1.6	0.7							
21	1.5	0.7			Limo argilloso consistente marrone e grigio chiaro, con livelli centimetrici sparsi di sabbia fine marrone chiaro.				
	2.1	0.9							
22	1.3	0.7	22.00						
	1.3	0.5							
23									
24					Sabbia addensata da fine a grossolana marrone chiaro, satura. Tra 23.00÷23.50 livello di ghiaia poligenica da media a grossolana in matrice sabbiosa grossolana marrone chiaro.				
25									
26									
27									
28									
29									
30			30.00						
								22.00	

OPERATORE:Dott. Geol. Renato Rijillo

REDATTORE:Dott. Geol. Matteo Lesi

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



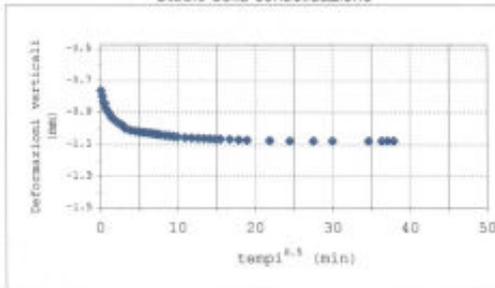
Taglio Diretto

Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Certificato: 953 - 14.045 - 001
 Verbale: 953
 Committente: LESI GEOL. MATTEO
 Località: SAN LAZZARO DI SAVENA (BO)
 Cantiere: VIA PALAZZETTI
 Sondaggio: CPT2
 Campione: C1
 Profondità: 1.00 - 1.60
 Data ricevimento: 17/03/2014
 Data inizio prove: 20/03/2014
 Data fine prove: 25/03/2014
 Data certificazione: 31/03/2014
 Data apertura campione: 20/03/2014
 Classe del campione: Q5

Umidità iniziale	%	23.99		
Densità naturale iniziale	kg/m ³	1975.95		
Densità secca iniziale	kg/m ³	1593.66		
Provino	n°	1	2	3
Lato	mm	60.0	60.0	60.0
Altezza iniziale	mm	20.0	20.0	20.0
Velocità di taglio utilizzata	mm/min	0.006	0.006	0.006
Press. Consolidazione	kPa	100	300	500
Umidità finale	%	24.02	22.07	20.15

Studio della consolidazione



Note:

Limo argilloso con livelli debolmente sabbiosi.
 Pocket P. 3.7 - 3.3 - 2.7 kg/cm²
 Tor V. >1 kg/cm²

Grafico sforzi/deformazioni

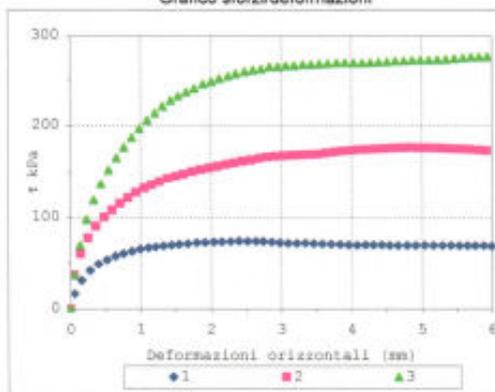
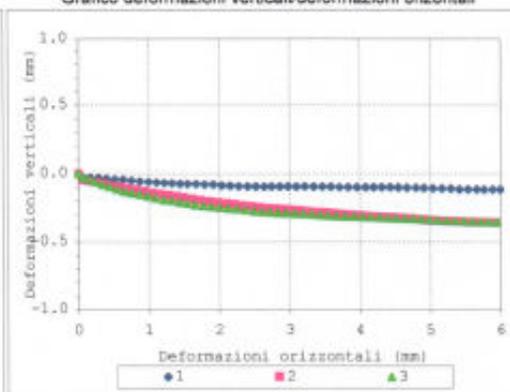


Grafico deformazioni verticali/deformazioni orizzontali



[Signature]
Direttore

[Signature]
Sperimentatore

40068 San Lazzaro di Savena (BO) Via della Tecnica 57/A4
 Tel 051 6255377 Fax 051 4968378
 Autorizzazione del Consiglio dei Lavori Pubblici - SETTORE TERRE

(IOP DE 3.5 - MOD PROD 11 B31)

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



Taglio Diretto
 Normativa di rif: UNI CEN ISO/TS 17892-10

Certificato: 953 - 14.045 - 001
 Verbale: 953

Consolidazione (5-100 kPa)	
tempi (sec)	def. lim
1	-0.732
6	-0.828
12	-0.885
24	-0.873
30	-0.902
60	-0.923
90	-0.937
120	-0.957
180	-0.971
240	-0.982
300	-0.990
360	-0.997
420	-1.003
480	-1.007
540	-1.012
600	-1.028
900	-1.038
1200	-1.045
1500	-1.049
1800	-1.052
2100	-1.055
2400	-1.058
2700	-1.060
3000	-1.062
3300	-1.065
3600	-1.068
4200	-1.072
4800	-1.075
5400	-1.077
6000	-1.081
7200	-1.084
8400	-1.088
9600	-1.087
10800	-1.090
12000	-1.091
13200	-1.092
14400	-1.093
15600	-1.096
18200	-1.097
21800	-1.100
28800	-1.103
36000	-1.106
45600	-1.106
54000	-1.106
72000	-1.106
78200	-1.106
82800	-1.106
86400	-1.106

Prova 1		
def. x (mm)	def. s. (mm)	taglio (kPa)
0.024	0.065	16.607
0.027	0.166	31.111
0.029	0.294	41.944
0.035	0.402	46.167
0.041	0.523	53.889
0.043	0.641	57.776
0.050	0.757	60.833
0.056	0.876	63.333
0.060	0.995	65.556
0.064	1.110	66.944
0.068	1.220	68.056
0.070	1.329	69.107
0.074	1.443	70.000
0.075	1.554	70.833
0.076	1.674	71.389
0.080	1.790	72.000
0.080	1.917	72.776
0.088	2.040	73.333
0.089	2.157	73.811
0.094	2.279	73.889
0.090	2.404	74.444
0.092	2.522	74.937
0.097	2.640	74.767
0.096	2.748	73.889
0.097	2.864	73.333
0.090	2.978	72.300
0.097	3.095	71.844
0.096	3.219	71.844
0.097	3.343	72.232
0.097	3.464	71.667
0.098	3.587	71.389
0.100	3.711	71.111
0.100	3.835	70.833
0.100	3.960	70.278
0.100	4.081	70.000
0.100	4.187	70.278
0.101	4.310	70.278
0.101	4.428	70.278
0.102	4.548	69.722
0.104	4.665	69.722
0.106	4.780	69.722
0.106	4.914	69.722
0.108	5.038	70.000
0.110	5.165	69.722
0.111	5.290	69.722
0.116	5.413	69.722
0.118	5.534	69.444
0.117	5.664	69.444
0.118	5.783	69.444
0.118	5.861	69.444
0.118	5.968	68.889
0.119	6.113	68.889
0.121	6.236	68.611
0.122	6.356	68.333
0.122	6.486	67.776
0.123	6.610	67.500
0.125	6.735	66.956
0.125	6.858	66.956

Prova 2		
def. x (mm)	def. s. (mm)	taglio (kPa)
0.051	0.061	36.867
0.057	0.152	66.900
0.060	0.257	77.776
0.071	0.366	90.556
0.087	0.484	100.278
0.099	0.566	108.666
0.111	0.706	115.278
0.123	0.822	121.389
0.133	0.934	127.222
0.144	1.050	131.667
0.153	1.163	135.556
0.162	1.278	138.889
0.170	1.390	142.600
0.179	1.505	144.722
0.189	1.618	147.222
0.198	1.737	150.000
0.206	1.859	152.222
0.214	1.982	153.889
0.222	2.099	155.833
0.227	2.219	157.776
0.237	2.335	159.444
0.243	2.450	161.389
0.250	2.572	162.776
0.258	2.699	164.444
0.260	2.804	165.833
0.265	2.922	166.667
0.270	3.043	167.222
0.274	3.159	167.776
0.279	3.276	168.333
0.285	3.402	168.889
0.288	3.520	169.167
0.294	3.640	170.278
0.298	3.758	171.389
0.303	3.877	172.222
0.307	4.001	172.776
0.312	4.118	173.666
0.318	4.237	174.167
0.321	4.358	175.000
0.322	4.477	175.278
0.327	4.587	175.633
0.331	4.717	176.111
0.336	4.839	176.389
0.338	4.960	176.111
0.343	5.080	176.111
0.347	5.202	175.833
0.350	5.324	176.556
0.352	5.440	175.000
0.358	5.560	174.444
0.358	5.686	174.167
0.358	5.808	173.611
0.360	5.927	172.776
0.360	6.047	172.222
0.361	6.166	172.222
0.363	6.286	172.222
0.364	6.411	172.222
0.367	6.533	172.222
0.368	6.657	172.222
0.370	6.778	172.222

Prova 3		
def. x (mm)	def. s. (mm)	taglio (kPa)
0.030	0.062	37.200
0.043	0.144	69.600
0.060	0.238	96.100
0.081	0.336	119.100
0.096	0.442	130.800
0.117	0.552	152.100
0.133	0.661	165.000
0.144	0.766	179.700
0.154	0.875	187.200
0.166	0.985	190.800
0.176	1.087	205.800
0.194	1.211	213.800
0.199	1.322	220.800
0.210	1.435	227.100
0.218	1.545	232.200
0.229	1.658	238.400
0.234	1.774	240.800
0.241	1.893	245.100
0.247	2.010	247.800
0.254	2.125	251.100
0.259	2.249	253.800
0.265	2.369	256.600
0.273	2.489	258.600
0.278	2.608	260.400
0.281	2.726	261.500
0.285	2.844	264.200
0.288	2.960	264.200
0.291	3.075	264.800
0.294	3.190	266.200
0.298	3.313	266.400
0.303	3.433	266.400
0.307	3.553	267.000
0.311	3.673	267.600
0.312	3.797	268.200
0.313	3.916	268.500
0.316	4.037	268.200
0.318	4.159	268.200
0.321	4.278	268.500
0.324	4.396	269.100
0.328	4.518	269.400
0.328	4.634	270.300
0.330	4.754	270.600
0.333	4.872	271.200
0.335	4.992	271.500
0.340	5.109	271.500
0.343	5.230	271.800
0.345	5.351	272.100
0.348	5.473	272.700
0.350	5.596	273.600
0.353	5.714	274.500
0.354	5.829	274.900
0.356	5.943	274.900
0.358	6.062	275.100
0.361	6.180	275.700
0.362	6.296	275.700
0.363	6.410	275.400
0.364	6.528	273.900
0.366	6.655	272.700

[Signature]
 Direttore

[Signature]
 Spedimentatore



(IOP DE 3,5 - MOD PROD 11 B31)

CARATTERISTICHE DELLA POMPA:

Tipo Sommerso Klein
 Potenza in HP. 7.5 prevalenza in m. 7.5

SEZIONE STRATOGRAFICA

P756

da m.	<u>0,00</u>	a m.	(Natura terreni attraversati ed eventuali falde acquifere)
..	..	→ <u>0,2</u>	..	Argilla senza
..	<u>22</u>	..	<u>25</u>	..
..	<u>25</u>	..	<u>40</u>	..
..	<u>40</u>	..	<u>44</u>	..
..	<u>44</u>	..	<u>50</u>	..
..	<u>50</u>	..	<u>55</u>	..
..	<u>55</u>	..	<u>60</u>	..
..	<u>60</u>	..	<u>65</u>	..
..	<u>65</u>	..	<u>70</u>	..
	Fine del pozzo			

OSSERVAZIONI E RILIEVI

P1
 L'acqua ha una temperatura di 16°
 e ottiene al palato un caratteristico
 un poco ferruginoso

			71-
76-	71-		65
25	50	76-	41
53	26	40	
ref		36	

....., li

LA DITTA PROPRIETARIA

Inverzi Giuseppe

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

221LP670 64E

→ Scheda da ritornare al Genio Civile

Emilia-Romagna

N°

ORA

COMPENSORIO

COMUNE-Istat

Ditta EUROGEL FRIGOGEL s.r.l.

residente a S.Lazzaro di Savena in Via Palazzetti, 28

Pozzo ad uso Industriale n.I in Comune di S.Lazzaro di Savena

Frazione _____ Località _____ Mapp.N° _____ /Fg. _____

Data di ultimazione della perforazione: Non rilevabile

Ditta perforatrice: Impresa Perforazioni A.Rabitti-Bologna

CARATTERISTICHE DEL POZZO

*avanpozzo (si o no) SI

*diametro interno tubi mm. 260

*profondità mt. 126.00

EQUIPAGGIAMENTO

tipo della pompa _____

potenza $\frac{Cv}{kW}$ _____ HP 40

prevalenza mt. _____

portata lt/sec. _____

livello statico mt. 17.00

portata pozzo: lt/sec. 13

superficie irrigata: _____

are _____ ca. _____

consumo giornaliero (24 ore): _____

etri cubi _____

Ditta sottoscritta afferma, sotto propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

ta _____

rma EUROGEL s.r.l.
 Via Palazzetti, 28
 S. LAZZARO (Bologna)

L'AMMINISTRATORE UNICO
 (GIUSEPPE LAZZARI)

Giuseppe Lazzari

Il sottoscritto _____ in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitato ad allegarne copia.

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati	Falde captate
-da mt. <u>0.00</u> a mt. <u>20.00</u> Terr.rip.- Argilla	
-da mt. <u>20.00</u> a mt. <u>30.00</u> Ghiaia asciutta	
-da mt. <u>30.00</u> a mt. <u>55.00</u> Sabbia asciutta	5.9"
-da mt. <u>55.00</u> a mt. <u>60.00</u> Argilla	
-da mt. <u>60.00</u> a mt. <u>80.00</u> Sabbia con acqua	Filtro
-da mt. <u>80.00</u> a mt. <u>110.00</u> Argilla	
-da mt. <u>110.00</u> a mt. <u>121.00</u> Ghiaia con acqua	Filtro
-da mt. <u>121.00</u> a mt. <u>126.00</u> Argilla - Negativo	

Localizzazione del pozzo

Long.		Lat.		Ha.	
Quota piano campagna: m.s.l.m. _____					

ANNOTAZIONI: Pozzo principale

GENIO CIVILE - BOLOGNA
 Prot. N° 6957
 - 4 OTT 1977

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

221 LP671 65E

→ Scheda da ritornare al Genio Civile

COMPENSORIO

COMUNE-Istat

Ditta Eurogel **FRIGOGEL S.R.L.**

residente a S.Lazzaro di Savena in Via Palazzetti, 22

- Pozzo ad uso Industriale n.2 in Comune di S.Lazzaro di Savena

Frazione _____ Località _____ Mapp.N° _____ /Fg. _____

- Data di ultimazione della perforazione: 27/12/20

- Ditta perforatrice: _____

CARATTERISTICHE DEL POZZO

*avanpozzo (si o no) SI

*diametro interno tubi mm. 260

*profondità mt. 130.00

EQUIPAGGIAMENTO

*tipo della pompa _____

*potenza $\frac{Cv}{kW}$ HP.20

*prevalenza mt. _____

*portata lt/sec. _____

- Livello statico mt. 18.00

- Portata pozzo: lt/sec. 10

- Superficie irrigata: _____ ha. _____ are _____ ca. _____

- Consumo giornaliero (24 ore): _____ metri cubi (vedi note)

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Indicare la natura dei terreni e le **FALDE ACQUIFERE** attraversati

Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE attraversati	Falde captate
-da mt. <u>0.00</u> a mt. <u>18.00</u> Terreno riporto	<u>vedi P. 670</u>
-da mt. <u>18.00</u> a mt. <u>57.00</u> Ghiaia e sabbia asciutta	<u>Strata S.G.</u>
-da mt. <u>57.00</u> a mt. <u>63.00</u> Argilla	
-da mt. <u>63.00</u> a mt. <u>79.50</u> Sabbia con acqua	Filtro
-da mt. <u>79.50</u> a mt. <u>115.00</u> Argilla	
-da mt. <u>115.00</u> a mt. <u>124.00</u> Ghiaia con acqua	Filtro
-da mt. <u>124.00</u> a mt. <u>130.00</u> Argilla - Negativo	
-da mt. _____ a mt. _____	

Localizzazione del pozzo

Long.										Lst.										Ha.									
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Quota piano campagna: m.s.l.m. _____

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data _____

Firma EUROGEL s.r.l.
 Via Palazzetti, 22
 S. LAZZARO (Bologna)
GIUSEPPE POZZATI

ANNOZZI TIZIANA
 GIUSEPPE POZZATI

ANNOTAZIONI: Il pozzo in argomento ha funzione di sostegno al pozzo n. I-

GENIO CIVILE BOLOGNA
 Prot. N. 6957

N.B.: Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo, rilasciati da Laboratori o Gabinetti, è invitata ad allegarne copia.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

CANTIERE:		ZONA 7	L.s.f. / 221/P675	Data: GENN. 1978	70-E
Iniziale: X		P.C.			
CONDITA P Parziali	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE DEI TERRENI		OSSERVAZIONI	
4.00		Terreno agrario limoso argilloso.		221100 P46	
4.00		Limi sabbiosi giallastri e brunastr.			
3.00		Ghiaie poligeniche di media pezzatura in matrice prevalentemente sabbiosa, gialla e brunastra.			
2.00		Limi sabbioso argilloso giallastri.			
2.00		Sabbie limose giallastre.			
4.00		Sabbie a grana media, brunastra.			
0.30		Ghiaie poligeniche in matrice prevalentemente sabbiosa, brunastra.			
0.70		Argille limose grigio giallastre.			
0.50		Ghiaie in matrice limoso argillosa.			
2.00		Argille limose giallastre.			
0.60		Ghiaie in matrice limoso argillosa.			
1.90		Argille limose grigio giallastre.			
		Ghiaie poligeniche di piccola e media pezzatura in matrice prevalentemente sabbiosa, giallastra e brunastra.			
				Elaborazione dati Brambilla Direttore Tecnico Lesi	



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **655/10** Data emissione: 21/05/10

Committente : C/O DOTT. FRANCHI
Località : VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
Prova numero : 10
Data : 21/05/2010
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.

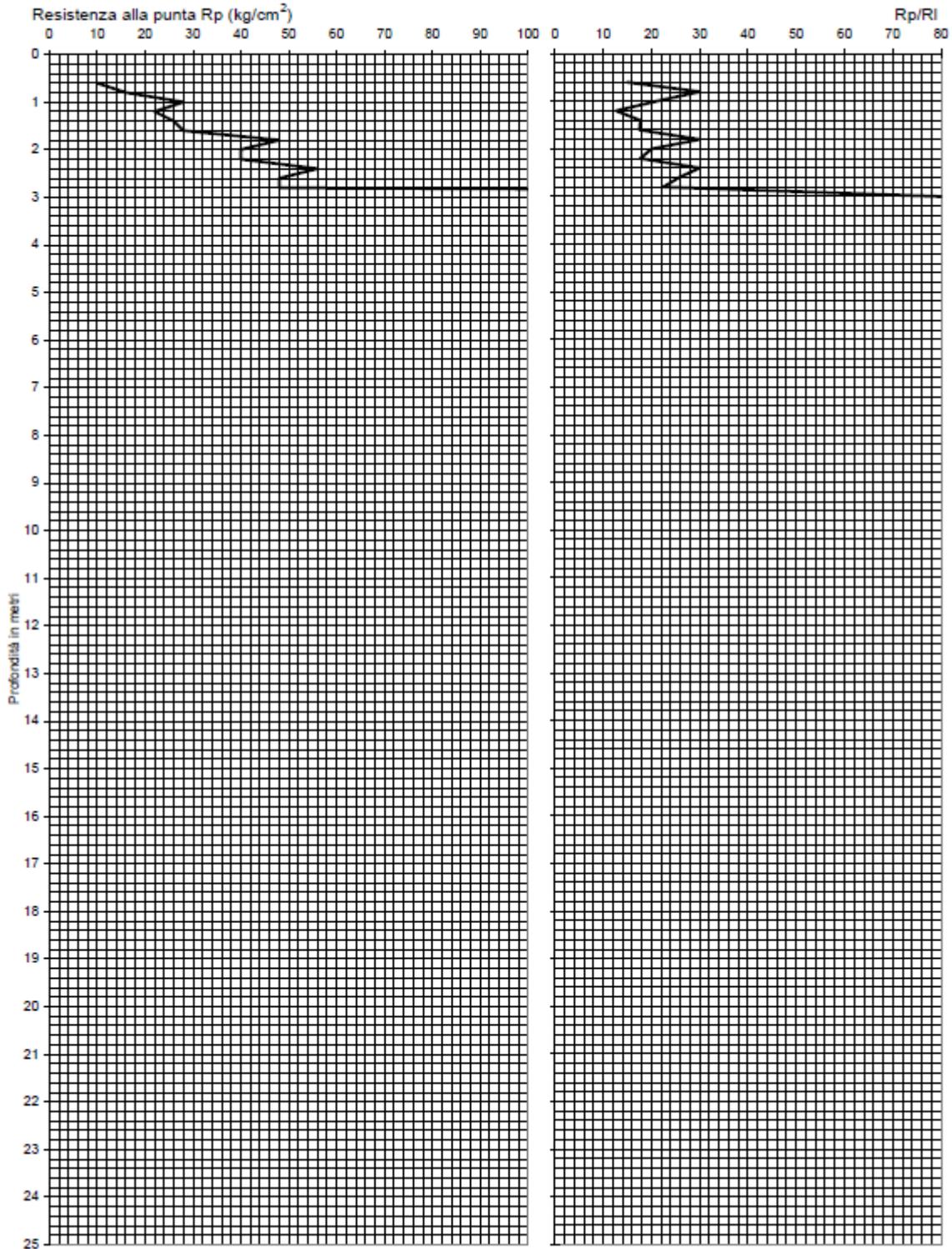
- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA



Prova n°: 10 Quota: P.C. Data: 21/05/2010
Località: VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
Committ.: C/O DOTT. FRANCHI
Certificato: 655/10 Data emissione: 21/05/10



- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



VIA AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA
 TEL. 059 313999 - FAX 059 454827



Prova n°: 10 Quota: P.C. Data: 21/05/2010
 Località: VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
 Committ.: C/O DOTT. FRANCHI
 Certificato: 655/10 Data emissione: 21/05/10

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]	Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20						15,20					
0,40						15,40					
0,60	10	20	10	0,67	15,00	15,60					
0,80	16	24	16	0,53	30,00	15,80					
1,00	28	48	28	1,33	21,00	16,00					
1,20	22	48	22	1,73	12,69	16,20					
1,40	26	48	26	1,47	17,73	16,40					
1,60	28	52	28	1,60	17,50	16,60					
1,80	48	72	48	1,60	30,00	16,80					
2,00	40	70	40	2,00	20,00	17,00					
2,20	40	74	40	2,27	17,65	17,20					
2,40	56	84	56	1,87	30,00	17,40					
2,60	48	76	48	1,87	25,71	17,60					
2,80	48	80	48	2,13	22,50	17,80					
3,00	500		500			18,00					
3,20						18,20					
3,40						18,40					
3,60						18,60					
3,80						18,80					
4,00						19,00					
4,20						19,20					
4,40						19,40					
4,60						19,60					
4,80						19,80					
5,00						20,00					
5,20						20,20					
5,40						20,40					
5,60						20,60					
5,80						20,80					
6,00						21,00					
6,20						21,20					
6,40						21,40					
6,60						21,60					
6,80						21,80					
7,00						22,00					
7,20						22,20					
7,40						22,40					
7,60						22,60					
7,80						22,80					
8,00						23,00					
8,20						23,20					
8,40						23,40					
8,60						23,60					
8,80						23,80					
9,00						24,00					
9,20						24,20					
9,40						24,40					
9,60						24,60					
9,80						24,80					
10,00						25,00					
10,20						25,20					
10,40						25,40					
10,60						25,60					
10,80						25,80					
11,00						26,00					
11,20						26,20					
11,40						26,40					
11,60						26,60					
11,80						26,80					
12,00						27,00					
12,20						27,20					
12,40						27,40					
12,60						27,60					
12,80						27,80					
13,00						28,00					
13,20						28,20					
13,40						28,40					
13,60						28,60					
13,80						28,80					
14,00						29,00					
14,20						29,20					
14,40						29,40					
14,60						29,60					
14,80						29,80					
15,00						30,00					



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999
Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA
Penetrometro Gouda

Certificato n. : **656/10** Data emissione: 21/05/10

Committente : C/O DOTT. FRANCHI
Località : VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
Prova numero : 11
Data : 21/05/2010
Operatore : DR. REBECCHI
Quota : P.C.

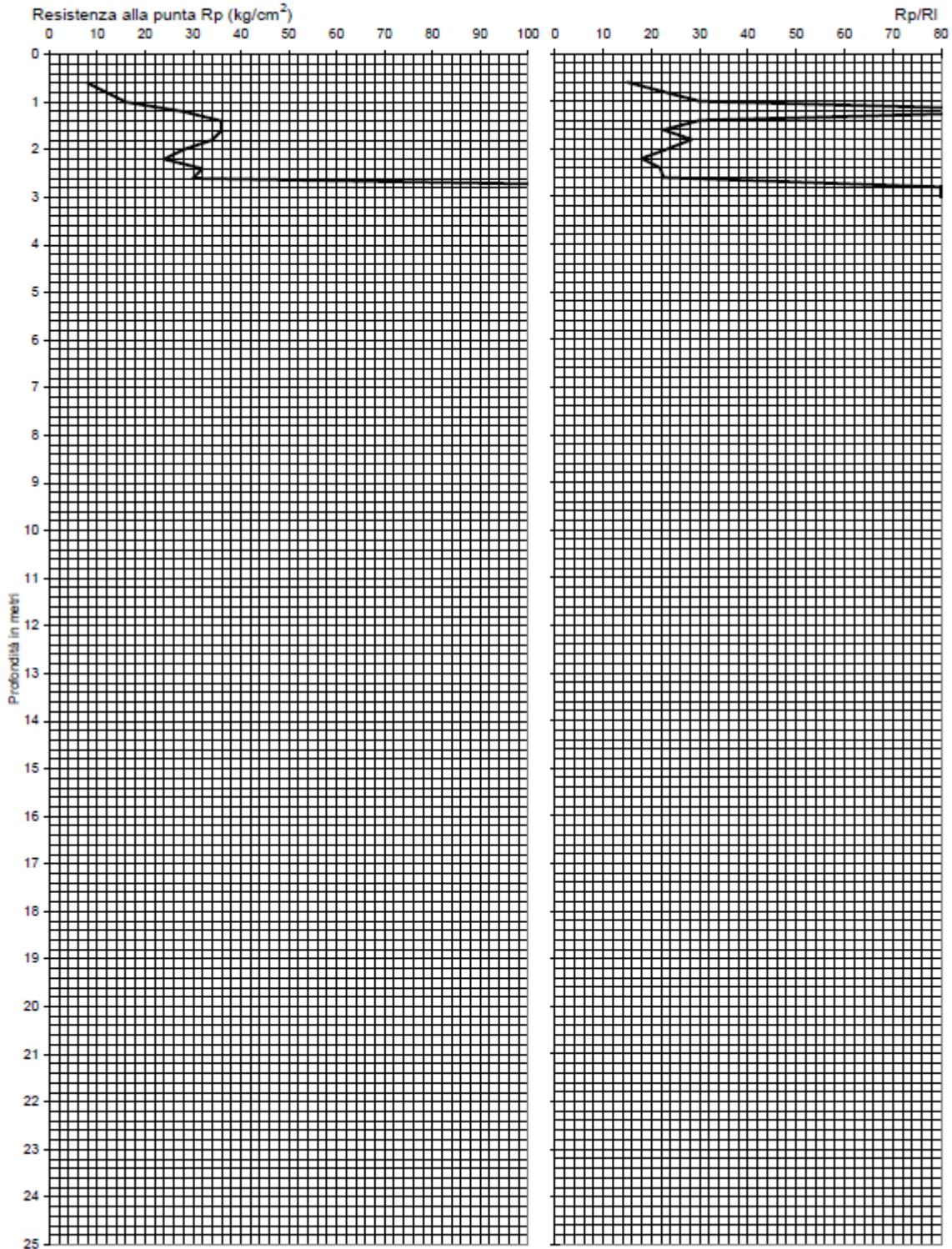
- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA



Prova n°: 11 Quota: P.C. Data: 21/05/2010
Località: VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
Committ.: C/O DOTT. FRANCHI
Certificato: 656/10 Data emissione: 21/05/10



- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna



VIA AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA
 TEL. 059 313999 - FAX 059 454827



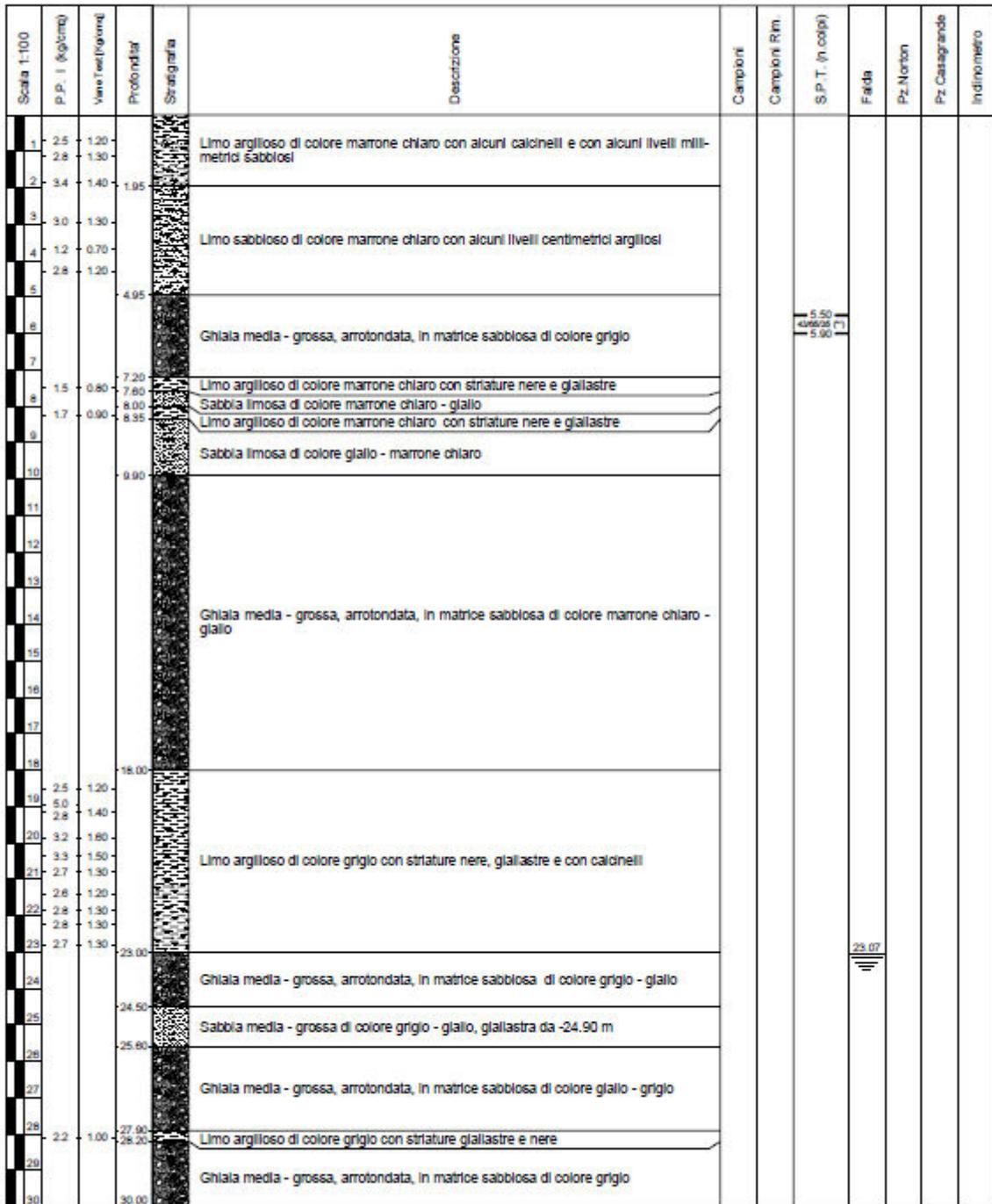
Prova n°: 11 Quota: P.C. Data: 21/05/2010
 Località: VIA FONDE'-S.LAZZARO-BO ANSC3cd
 Committ.: C/O DOTT. FRANCHI
 Certificato: 656/10 Data emissione: 21/05/10

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60	8	16	8	0,53	15,00
0,80	12	20	12	0,53	22,50
1,00	16	24	16	0,53	30,00
1,20	28	32	28	0,27	105,00
1,40	36	54	36	1,20	30,00
1,60	36	60	36	1,60	22,50
1,80	34	52	34	1,20	28,33
2,00	28	46	28	1,20	23,33
2,20	24	44	24	1,33	18,00
2,40	32	54	32	1,47	21,82
2,60	30	50	30	1,33	22,50
2,80	150		150		
3,00	500		500		
3,20					
3,40					
3,60					
3,80					
4,00					
4,20					
4,40					
4,60					
4,80					
5,00					
5,20					
5,40					
5,60					
5,80					
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

 <small>INGEGNERIA GEOLOGICA ED AMBIENTALE Via Emilia, 11 - 40138 BOLOGNA Tel. 051/2610111 - Fax 051/2610112 - E-mail: info@sogeo.it</small>	COMMITTENTE: Dott. Geol. Franchi Valeriano	SOND. N. 1
	CANTIERE: San Lazzaro (BO)	PROF. (m): 30.00
	PERFORATRICE: CMV MK300 D1	QUOTA (m): p.d.c.
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	COORDINATE U.T.M.
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 07/05/2010-07/05/2010
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100
RIF. PREV. N°: 106-1-10	CERTIFICATO N°: _____	RAPPORTO N°: R194-2010-A
		DATA DI EMISSIONE: 10/05/2010
		PAGINA N°: 1 di 2



Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

RA: MOD_STR RA-2

Mat_STR Rev2 del 12/2007

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

 <small>INDAGINE GEOLOGICA AMBIENTALE VIA SASSI, 11 - 40011 SASSO MARCONI (BO) TEL. 051/6755073 - FAX 051/6755074 - WWW.SOGEO.IT</small>	COMMITTENTE: Dott. Geol. Franchi Valeriano	SOND.N. 1
	CANTIERE: San Lazzaro (BO)	PROF. (m): 30.00
	PERFORATRICE: CMV MK300 D1	QUOTA (m) p.d.c.
	METODO PERFORAZ.: Carotaggio continuo	COORDINATE U.T.M.
RIVESTIMENTO: Ø 127 mm	ATTREZZO PERFORAZ.: Carotiere semplice Ø 101 mm	DATA INIZ-FINE: 07/05/2010-07/05/2010
PIEZOMETRO:		SCALA: 1:100
RIF.PREV.N°: 106-1-10	CERTIFICATO N°:	RAPPORTO N°: R194-2010-A
		DATA DI EMISSIONE: 10/05/2010
		PAGINA N°: 2 di 2

Scala 1:100	P.P. I (g/g/cm ³)	Vano Test (g/g/cm ³)	Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Campioni	Campioni Rim.	S.P.T. (n colpi)	Falda	Pz. Norton	Pz. Casagrande	Indicimetro
31			30.00									

Note:
 Livello acqua rilevato a fine sondaggio a -23.70 m dal p.d.c.
 (*) Prove S.P.T. da -5.50 a -5.90 m: rifiuto = 25 cm.

Lo Sperimentatore

File: MKD_STR Rev-2

Mat_STR Rev2 del12/05/07

Il Direttore del Laboratorio

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
- Analisi di II livello di approfondimento -
(ai sensi del D.M.14-01-08 e della Deliberazione
dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna
n.112 del 02/05/2007)

Sasso Marconi (BO), maggio 2014



INDICE

1. PREMESSA	78
2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	79
3. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	80
4. INDAGINI GEOFISICHE PRECEDENTI ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO.....	85
5. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SITO.....	90
5.1 PREMESSA	90
5.2 INTRODUZIONE GENERALE	90
5.3 TECNICA MASW: PROCEDURA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	92
5.4 TECNICA HVSR: PROCEDURA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	93
6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA D'INDAGINE	94
6.1 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE IN SITO	94
6.2 MODELLO SISMICO DEL SITO	97
6.3 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE.....	99
7 VALUTAZIONE DELLE PERICOLOSITA' SISMICHE DEL SITO	101
7.1 VALUTAZIONE DELLA POSSIBILE AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA	101
7.2 VALUTAZIONE DELLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE.....	101
8 INDIVIDUAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI.....	104
9. CONCLUSIONI	110

ALLEGATO

- FOTO ESECUZIONE INDAGINI IN SITO;
- REPORT INDAGINE GEOFISICA;
- INDAGINI GEOFISICHE PREGRESSE ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO.

1. PREMESSA

Dalle Norme del P.O.C. variante 1-2012 del Comune di San Lazzaro di Savena, l'area in oggetto non prevede la realizzazione di opere strategiche e/o interventi di interesse pubblico, per le quali è prevista un'Analisi di III livello di approfondimento mediante uno studio di microzonazione sismica; si è pertanto proceduto con una caratterizzazione e modellazione sismica di II livello di approfondimento, mediante l'approccio semplificato.

Con il presente elaborato ci si prefigge di:

- analizzare i dati delle indagini geofisiche effettuate al contorno del sito;
- descrivere le metodiche utilizzate e riportare i risultati delle indagini geofisiche eseguite in sito;
- ricostruire un modello sismico del sottosuolo;
- ricavare la categoria di sottosuolo in base alla velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30m di profondità;
- fornire i parametri ed i coefficienti sismici del terreno di fondazione evidenziando eventuali possibili amplificazioni ;
- restituire i valori del rapporto di accelerazione orizzontale massima (PGA/PGA_0) ed il valore del rapporto di intensità di Housner (SI/SI_0) per fissati intervalli di tempo in base alla stima della profondità del *bed-rock* sismico;
- verificare le pericolosità sismiche del sito quali le possibili amplificazioni del segnale per cause stratigrafiche e/o litologiche o la presenza o meno di sedimenti granulari saturi potenzialmente liquefacibili.

Tutte le informazioni suddette risulteranno utili al Progettista, in relazione a quanto prescritto nella Normativa vigente in materia di costruzioni, per una corretta progettazione della/e futura/e struttura/e in campo sismico.

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è stato redatto in ottemperanza a quanto contenuto nella normativa di seguito riportata:

a) Normativa nazionale:

- Decreto Ministeriale 14-01-2008: "*Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni*";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: "*Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009, n.617*";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: "*Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale*". Allegato al voto n.36 del 27-07-2007;

b) Normativa regionale:

- Regione Emilia-Romagna: "*Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica*", Delibera Assemblea Legislativa Prog. N.112 oggetto 2131 del 02-05-2012;
- Regione Emilia-Romagna: "*Microzonazione sismica. Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica. Versione 2.0 del 14-11-2013*". Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n.70 del 13 novembre 2012;

c) Normativa Comunale:

- Comune San Lazzaro di Savena (Bo) - "*Piano Operativo Comunale variante 1- 2012 (L.R. 24 marzo 2000, n. 20 - art. 30)*", adottato con Delibera del Consiglio Comunale n. 46 del 19/07/2012 ed approvato con Delibera del Consiglio Comunale n. 21 del 28/05/2013.

Per la definizione del modello sismico si è fatto riferimento a quanto riportato nella Relazione Geologica redatta dallo scrivente in relazione alle indagini in sito, a quelle al contorno, alla cartografia dei Piani Normativi Sovraordinanti ed anche "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna", scala 1:250.000, 2004 redatta dalla Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli.

3. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Secondo quanto indicato nell'Allegato A4 della legge della Regione Emilia-Romagna n°112/2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", il Comune di San Lazzaro di Savena è caratterizzato da un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), pari a $a_{refg}=0.172$.

In Figura 1 viene individuata l'area del Comune di San Lazzaro di Savena nella mappa di pericolosità espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($Vs_{30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1) allegata all'Ordinanza PCM n.3519 del 28 aprile 2006.

In Tabella 3.1 sono riassunte tutte le informazioni riguardanti la pericolosità sismica del Comune di San Lazzaro di Savena.

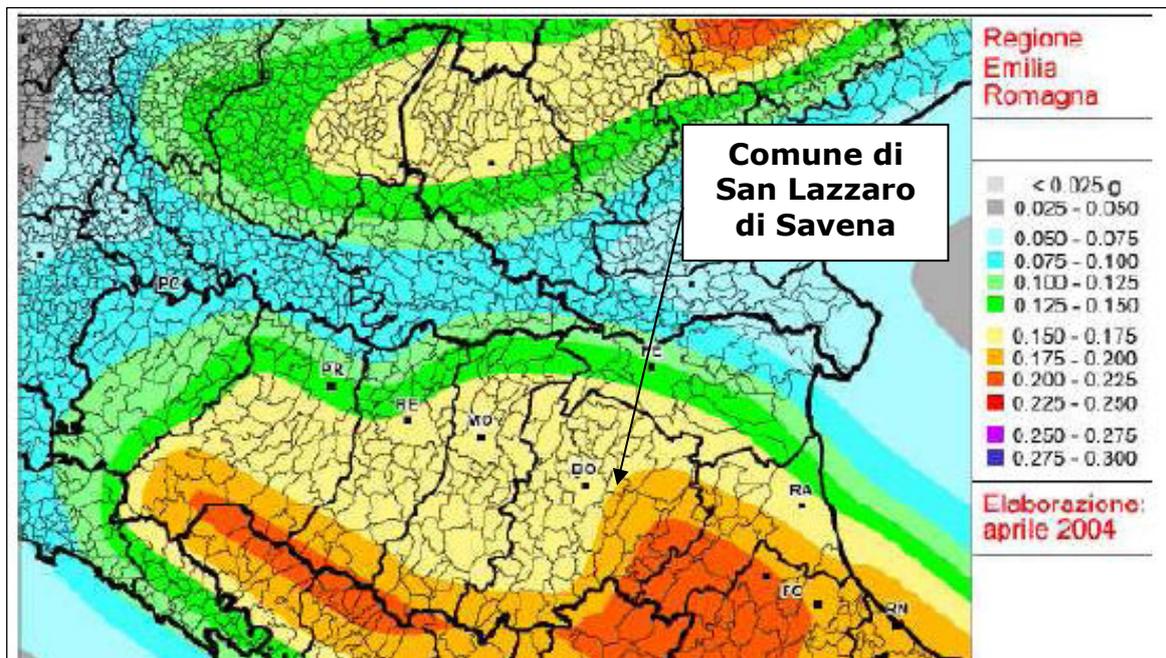


Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica di riferimento (Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n.2374 All.1) espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($Vs_{30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1) allegata all'Ordinanza PCM n.3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 3.1 – Valori di pericolosità sismica validi per il Comune di San Lazzaro di Savena.

CODICE ID ISTAT	CLASSIFICAZIONE NAZIONALE ZONE SIMICHE 2004	VALORE DI PERICOLOSITA' SISMICA (OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All.1b)	VALORE DI ACCELERAZIONE MAX ORIZZONTALE DI PICCO AL SUOLO PER T=0 (All. A4 L.R. 3121/2007)
037054	Zona 3 – bassa pericolosità	$0,150 < a_g < 0,175$	$a = 0,172g$

Il Database delle Osservazioni Macrosismiche dei terremoti Italiani (DBMI11), compilato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), non contempla il Comune di San Lazzaro; viene di seguito presa di riferimento i dati dell'attiguo Comune di Bologna caratterizzato una storia sismica di n.183 eventi sismici dal 1065 al 2004 con valori di Magnitudo M_w compresi tra 4.09÷7.00, come mostrato in Tabella 3.2 ed in Figura 2.

Tabella 3.2 – Storia sismica del Comune di Bologna (DBMI11-INGV).

Is	ANNO ME GI OR	AREA EPICENTRALE	STUDIO	nMDP	Io
NR	1065 03 27 11:25	Brescia	6	7	5.14 ±0.34
5-6	1174 08 17 18:00	Val Padana	3	4-5	4.09 ±0.34
F	1194	GALEATA	3	6-7	4.93 ±0.34
6	1222 12 25 12:30	Basso Bresciano	18	7-8	5.84 ±0.56
NR	1234 03 20	FERRARA	5	7	5.14 ±0.34
NR	1249 09	Modena	4	6-7	4.93 ±0.34
5-6	1280 01 25	Val Padana	2	5-6	4.51 ±0.34
5-6	1323 02 25 19:00	Bologna	5	5	4.30 ±0.34
NR	1346 02 22 11:00	Ferrara	5	6-7	4.93 ±0.34
5	1348 01 25 15:30	Carinzia	58	9-10	7.02 ±0.18
F	1349 09 09 08:15	Viterbese-Umbria	9		
3-4	1352 12 25	MONTERCHI	7	9	6.44 ±0.54
7-8	1365 07 25 18:00	Bologna	1	7-8	5.35 ±0.34
NR	1383 07 24 20:00	PARMA	7	4-5	4.09 ±0.34
6-7	1399 07 20 23:00	Modenese	6	7	5.14 ±0.34
NR	1409 11 15 11:15	Parma	5	7	5.14 ±0.34
NR	1410 06 10 21:00	Verona	9		
3	1414 08 07	TOSCANA OCC.	8	7-8	5.61 ±0.67
7	1433 05 04 08:05	Bologna	4	6	4.72 ±0.34
NR	1438 06 11 02:00	Parmense	10	8	5.57 ±0.34
NC	1455 02 06	Media valle del Reno	2		
6-7	1455 12 20 20:45	Media valle del Reno	6		
NR	1465 04 07 15:30	Pianura Padana	11	5-6	4.51 ±0.34
NR	1474 03 11 20:30	MODENA	12	5	4.30 ±0.34
3-4	1483 08 11 19:40	Romagna meridionale	14	8	5.68 ±0.40
NR	1491 01 24 23:50	Padova	6		
3	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	20	9	5.98 ±0.32
6-7	1504 12 31 04:00	Bolognese	15		
8	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8	5.57 ±0.25
6-7	1505 01 20 23:50	Bolognese	11		
5-6	1505 01 27 02:40	Bolognese	2		
5-6	1505 04 03 12:25	Bolognese	1		
5-6	1505 05 15	Bolognese	1		
NF	1509 04 19	Faentino	5	7	5.03 ±0.84
4	1511 03 26 14:40	Slovenia	66	9	6.98 ±0.17
4	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7	5.29 ±0.56
4-5	1542 06 13 02:15	Mugello	46	9	5.94 ±0.21

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

NR	1561 11 24 01:25	Ferrara	5	5-6	4.51 ±0.34
4	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8	5.46 ±0.25
3-4	1591 07 10	FORLI'	6	6-7	5.19 ±0.79
4	1624 03 19 19:45	Argenta	18	7-8	5.47 ±0.49
4	1661 03 21 23:00	Modenese	4	6-7	4.93 ±0.34
5-6	1661 03 22 12:50	Appennino romagnolo	79	9	6.09 ±0.16
6	1666 04 14 18:58	Bolognese	3	5	4.30 ±0.34
3	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	8	7	5.25 ±0.72
3	1672 04 14 15:45	Riminese	92	8	5.61 ±0.21
6	1688 04 11 12:20	Romagna	39	8-9	5.78 ±0.35
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10	6.48 ±0.18
F	1703 01 14 18:00	Appennino umbro-reatino	199	11	6.74 ±0.11
4	1725 10 29 17:40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.43 ±0.34
6	1779 06 01 23:55	Bolognese	8		
6	1779 06 02 07:30	Bolognese	3		
7	1779 06 04 07:00	Bolognese	13	7	5.24 ±0.52
6-7	1779 06 10 08:35	Bolognese	10		
7	1779 07 14 19:30	Bolognese	17		
5	1779 08 20 10:50	Bolognese	2	5	4.30 ±0.34
6	1779 11 23 18:30	Bolognese	14	5	4.99 ±0.31
6-7	1780 02 06 04:00	Bolognese	9	6	5.13 ±0.57
4	1781 04 04 21:20	Romagna	96	9-10	5.94 ±0.17
3	1781 07 17 09:40	Romagna	46	8	5.58 ±0.26
4-5	1786 12 25 01:00	Riminese	91	8	5.62 ±0.17
6-7	1796 10 22 04:00	Emilia orientale	27	7	5.61 ±0.36
6	1801 10 08 07:52:53	Bologna	6	6	5.07 ±0.83
2	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGLIO	85	8	5.64 ±0.22
4-5	1806 02 12	NOVELLARA	28	7	5.19 ±0.39
4	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6	5.29 ±0.22
4	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	21	6-7	5.25 ±0.40
4-5	1813 09 21 07:45	Romagna centrale	12	7	5.27 ±0.94
2	1818 12 09 18:55	Parmense	26	7	5.28 ±0.35
4-5	1830 01 26 04:30	Appennino bolognese	11	5-6	4.74 ±0.65
3	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8	5.54 ±0.32
4-5	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
4	1834 02 14 13:15	Valle del Taro-Lunigiana	112	9	5.83 ±0.15
3	1834 07 04 00:45	Lunigiana-Parmense	24		
6	1834 10 04 19:00	Bolognese	12	6	4.85 ±0.43
3	1843 10 25 03:30	Mugello	17	6-7	5.12 ±0.29
NF	1846 08 14 12:00	Toscana settentrionale	122	9	5.91 ±0.13
5	1850 09 18 06:20	Modenese	7	5	4.30 ±0.34
4	1861 10 16	FORLI'	10	6-7	5.10 ±0.48
3-4	1864 03 15	ZOCCA	13	6-7	4.90 ±0.71
4	1864 12 11 17:40	MUGELLO	9	7	5.11 ±0.73
5-6	1869 06 25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8	5.42 ±0.48
3	1870 10 30 18:34	Romagna	41	8	5.58 ±0.27
3-4	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
5	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
4-5	1873 09 17	LIGURIA ORIENTALE	67	6-7	5.43 ±0.15
4-5	1874 10 07	IMOLESE	60	7	5.02 ±0.18
4-5	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144		5.93 ±0.16
NF	1875 12 06	S.MARCO IN LAMIS	97	8	5.98 ±0.16
5	1878 03 12 21:36	Bolognese	31	6	5.06 ±0.30
5	1878 04 05 09:46	Bolognese	6		
4	1878 06 04 14:40	Bolognese	13		
5	1879 04 27 04:06	Valle del Senio	20	7	5.05 ±0.50
6	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7	5.16 ±0.30

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

5	1881 01 25 07:06	Bolognese	18		
6	1881 02 14 09:00:30	Bolognese	21		
3	1881 09 28	CESENA	24	6-7	4.82 ±0.27
4	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6	5.19 ±0.15
3	1885 12 29	VITTORIO VENETO	47	6	5.18 ±0.19
RS	1886 09 05	VAL DI SUSÀ	102	7	5.25 ±0.17
F	1887 02 23 05:21:50	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
NF	1887 11 14 05:48:05	Fiorentino	101	6	4.54 ±0.13
6	1889 03 08 02:57:04	Bolognese	38	5	4.73 ±0.22
3	1889 12 08	APRICENA	122	7	5.69 ±0.13
NF	1890 03 26 20:10	CADORE	48	6	4.96 ±0.38
3	1891 06 07 01:06:14	Valle d'Illasi	403	8-9	5.86 ±0.06
RS	1892 01 05	GARDA OCC.	100	6-7	5.02 ±0.15
2-3	1892 08 09 07:58	Valle d'Alpone	160	6-7	4.91 ±0.11
NF	1892 12 29 13:48	Appennino bolognese	19	5-6	4.52 ±0.33
2	1894 02 09 12:48:05	Valle d'Illasi	116	6	4.77 ±0.15
3	1894 11 27 05:07	FRANCIACORTA	183	6	5.07 ±0.10
NF	1895 03 23	COMACCHIO	37	6	4.74 ±0.31
4	1895 04 14 22:17	Slovenia	296	8	6.23 ±0.08
4	1895 05 18 19:55:12	Fiorentino	401	8	5.43 ±0.08
3	1897 12 18 07:24:20	Appennino umbro-marchigiano	132	7	5.13 ±0.14
2	1898 01 16 12:10:05	Romagna settentrionale	73	6-7	4.79 ±0.33
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
3	1899 06 26 23:17:22	Valle del Bisenzio	138	7	5.06 ±0.15
2	1901 10 30 14:49:58	Salò	190	8	5.70 ±0.10
3	1904 02 25 18:47:50	Reggiano	62	6	5.05 ±0.18
3	1904 06 10 11:15:28	Frignano	102	6	5.03 ±0.18
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
3-4	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5	4.52 ±0.25
6	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
3	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
NF	1911 09 13 22:29	Chianti	115	7	5.19 ±0.14
3	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6	4.78 ±0.19
5	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
3	1915 01 13 06:52	Avezzano	1041	11	7.00 ±0.09
5	1916 05 17 12:49:50	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
5	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257		6.14 ±0.14
2	1918 05 06 08:05	Reggiano	8	5-6	4.52 ±0.69
4-5	1918 11 10 15:12:28	Appennino romagnolo	187	9	5.88 ±0.11
4-5	1919 06 29 15:06:12	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
5	1920 09 07 05:55:40	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
3	1922 05 24 21:17:25	Ferrarese	7	4	4.34 ±0.25
3-4	1926 01 01 18:04:06	Slovenia	63	7-8	5.85 ±0.18
6	1929 04 10 05:43:12	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
4	1929 04 11 00:56:08	Bolognese	10		5.02 ±0.37
4	1929 04 12 00:32:12	Bolognese	7		5.09 ±0.37
5-6	1929 04 19 04:15:22	Bolognese	82		
5	1929 04 20 01:09:46	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
5	1929 04 22 08:25:33	Bolognese	41		
5	1929 04 28 19:39:54	Bolognese	20		
5	1929 04 29 18:35:59	Bolognese	45		
5	1929 05 11 19:22:48	Bolognese	64		
2-3	1929 07 18 21:01:58	Mugello	56	6-7	5.02 ±0.17
2	1930 10 30 07:13:13	SENIGALLIA	263	8	5.81 ±0.09
3	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4	4.42 ±0.22
3	1935 06 05 11:48:02	Faentino	27	6	5.16 ±0.25
3	1936 10 18 03:10:12	BOSCO CANSIGLIO	267	9	6.12 ±0.09

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

3	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7	5.08 ±0.16
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
3	1956 04 26 03:00:03	Appennino tosco-emiliano	75	6	4.77 ±0.14
3	1960 10 29 00:08:39	Mugello	69	7	4.97 ±0.15
3	1963 07 19 05:45:28	Mar Ligure	463		6.02 ±0.14
3-4	1964 09 05 21:08	RONCOBILACCIO	22	5	4.71 ±0.21
3	1967 04 03 16:36:18	Reggiano	47	5-6	4.69 ±0.19
RS	1967 12 09 03:09	Adriatico Meridionale	22		
4	1967 12 30 04:19:20	BASSA PADANA	40	6	5.24 ±0.19
4	1971 07 15 01:33:23	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
4-5	1976 05 06 20:00:12	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09
2-3	1976 09 11 16:35:02	Friuli	40		5.63 ±0.09
4-5	1976 09 15 09:21:19	Friuli	54		5.98 ±0.15
3	1978 12 25 22:53:42	Bassa mantovana	28	5	4.22 ±0.22
3	1979 02 09 14:44:17	CAPRIATE S. GERVASIO	73	6	4.85 ±0.13
3	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
3	1980 12 23 12:01:06	Piacentino	38	6-7	4.60 ±0.09
4	1983 11 09 16:29:52	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02:60	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
2	1986 12 06 17:07:20	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	802	6	4.74 ±0.09
4	1989 09 13 21:54:01	PASUBIO	779	6-7	4.88 ±0.09
2-3	1992 04 17 11:59:09	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
4-5	1996 10 15 09:56:02	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
3-4	1997 09 26 09:40:27	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	6.01 ±0.09
4	1999 07 07 17:16:13	Frignano	32	5	4.70 ±0.09
NF	2000 05 06 22:07:04	Emilia Romagna	84	5	4.17 ±0.09
NF	2000 05 08 12:29:56	Emilia Romagna	126	5	4.66 ±0.09
NF	2000 05 10 16:52:12	Emilia Romagna	151	5-6	4.86 ±0.09
5	2003 09 14 21:42:53	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09
NF	2003 12 07 10:20:33	Zona Forlì	172	5	4.22 ±0.09
3	2004 11 24 22:59:38	Lago di Garda	176	7-8	5.06 ±0.09

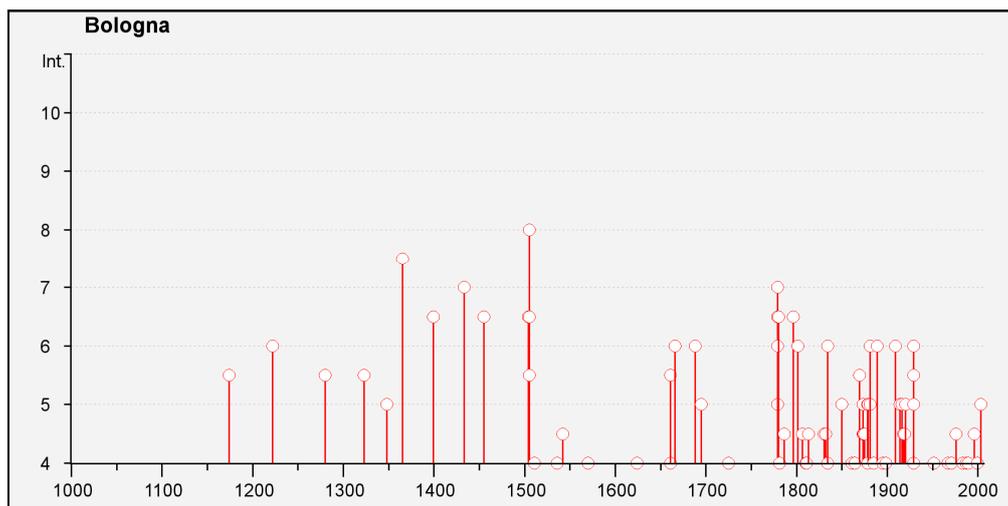


Figura 2 – Grafico tempo (anni)-intensità sismica (Magnitudo) inerente la storia sismica del Comune di Bologna.

Ai dati riportati in Tabella 6.2 vanno aggiunte le recenti sequenze sismiche comprese maggio 2012 che hanno interessato la pianura padana tra Emilia, Veneto e Lombardia, con epicentro nel modenese e magnitudo $M_w=5.8$.

4. INDAGINI GEOFISICHE PRECEDENTI ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO

Per la caratterizzazione sismica del comparto ANS C.3 (sub. c/d), attiguo all'area in oggetto, sono state effettuate le seguenti indagini geofisiche in sito:

- n°1 indagine geofisica di tipo attivo mediante stendimento MASW ciascuno lungo circa 30m;
- n°2 indagini geofisiche di tipo passivo tramite l'esecuzione misure HVSR.

L'ubicazione di tali indagini rispetto all'area in oggetto è riportata nella Figura 16 del Paragrafo 5.3 della Relazione Geologica a cui si rimanda; i grafici dei risultati ottenuti sono riportati nell'Allegato al presente lavoro.

Poiché in tale area è prevista la realizzazione di una scuola, che è un'opera d'interesse pubblico ed è classificata come strategica, è stata effettuata un'analisi di III livello di approfondimento mediante approccio non semplificato come richiesto dalle Norme del POC del Comune di san Lazzaro, variante 1-2012, e secondo le modalità della Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna, n.112 oggetto 2131 del 02-05-2012.

L'area in oggetto invece prevede in via preliminare la realizzazione di opere da adibire ad uffici commerciali e terziario e pertanto nel presente lavoro non verranno discussi i risultati di suddetta indagine di III livello di approfondimento.

Come riportato in Tabella 4.1 e Figura 3, i risultati della prima indagine geofisica mediante stendimento MASW, eseguito lungo il lato nord del comparto ANS C.3 (sub. c/d), hanno restituito la presenza nei primi 30m da p.c. di n°6 sismostrati con valori delle velocità delle onde di taglio Vs inferiori a 200m/s nei primi 3 metri da p.c.

Tabella 4.1 – *Sismostrati individuati dall'indagine geofisica attiva MASW1 lungo il lato nord del comparto ANS C.3 (sub. c/d), relativi spessori e velocità media ponderata delle onde di taglio S (Fonte: relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).*

SISMOSTRATO	PROFONDITA' ALLA BASE DELLO STRATO (m da p.c.)	SPESSORE (m)	Vs (m/s)
1	3.1	3.1	194
2	7.9	4.8	299
3	11.8	3.9	281
4	17.7	5.9	313
5	24.5	6.8	341
6	30.0	5.5	350

A partire da tale profondità i valori risultano in costante aumento fino a raggiungere una velocità media ponderata dell'ultimo sismostrato a 30m da p.c. pari a 350m/s.

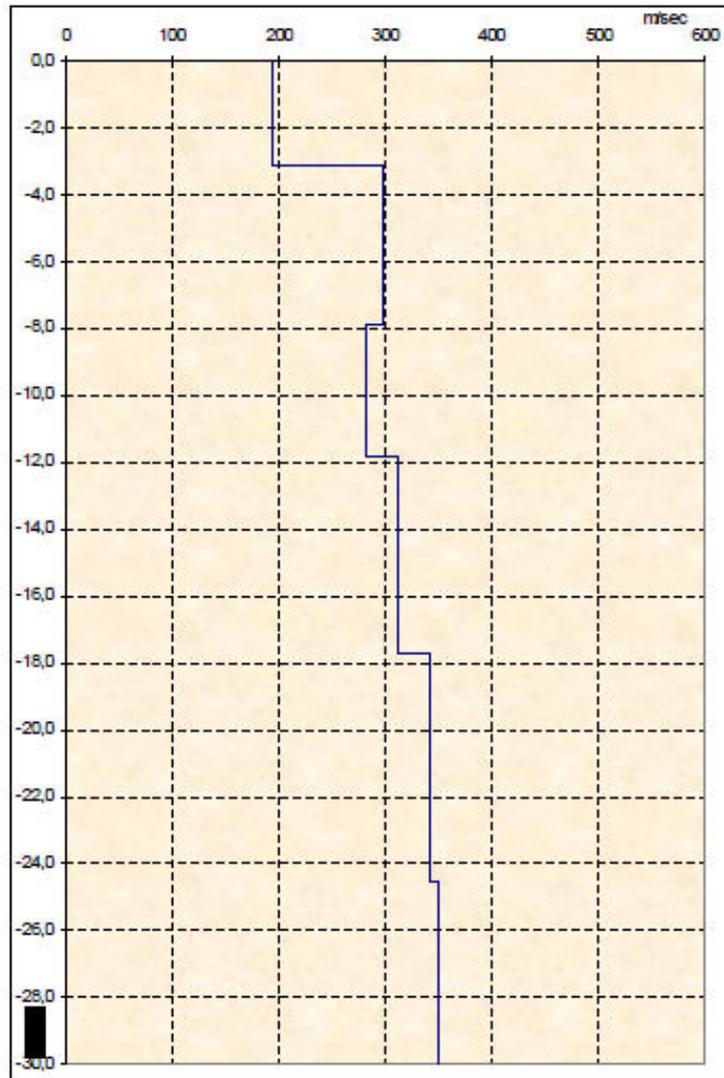


Figura 3 – Diagramma velocità onde di taglio V_s nei primi 30m con la profondità per la MASW1 eseguita lungo il lato nord del comparto ANS C.3 (sub. c/d) (Fonte: Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011)

In base a quanto riportato in Tabella 3.1, secondo l'approccio semplificato, la velocità media ponderata delle onde di taglio S nei primi 30m di profondità è pari a **$V_{s,30}=299\text{m/s.}$**

Secondo la Tabella 3.2.II delle NTC 2008 per un tale valore di $V_{s,30}$ il sottosuolo dell'area d'indagine ricade nella **Categoria C** caratterizzata da "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle

proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $7 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)."

La seconda indagine geofisica MASW2 è stata eseguita lungo il lato sud del suddetto comparto; come da Tabella 4.2 e Figura 4, l'elaborazione dei dati di campagna ha restituito anche in questo secondo caso n°6 sismostrati fino a 30m da p.c.

Tabella 4.2 – Sismostrati individuati dall'indagine geofisica attiva MASW2 lungo il lato sud del comparto ANS C.3 (sub. c/d), relativi spessori e velocità media ponderata delle onde di taglio S (Fonte: Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

SISMOSTRATO	PROFONDITA' ALLA BASE DELLO STRATO (m da p.c.)	SPESSORE (m)	V_s (m/s)
1	3.8	3.8	203
2	7.0	3.2	307
3	11.7	4.7	318
4	16.3	4.6	336
5	20.9	4.6	284
6	30.0	9.1	382

Per circa 4m da p.c. la velocità media ponderata delle onde di taglio V_s è di poco superiore a 200m/s; a partire da tale profondità si ha un deciso aumento di V_s che passano ad un valore 300m/s ed arrivano 382m/s a 30m da p.c.

Se si confrontano i risultati delle due indagini MASW si può osservare come ci sia una buona uniformità nell'individuazione dei 6 sismostrati, nel loro spessore e nei valori delle velocità delle onde di taglio S.

In questo secondo caso però a differenza del primo il trend dei valori di V_s non risulta essere crescente con la profondità; si può notare infatti dalla Figura 2 una inversione di velocità tra 16÷21m da p.c. circa, probabilmente in corrispondenza dell'orizzonte limoso-argilloso compreso tra 18÷23m da p.c. rilevato in sito dal Sondaggio compreso tra due orizzonti ghiaiosi più rigidi.

Per quanto concerne le misure HVSR, risulta dalla Figura 5 che per frequenze comprese tra 20÷50Hz si ha che la componente del moto *up/down* di colore rosso è sempre al di sotto delle altre due componenti nord/sud (verde) ed est/ovest (blu); tale andamento sta ad indicare una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica ad alto contrasto d'impedenza con picco H/V a circa 40Hz.

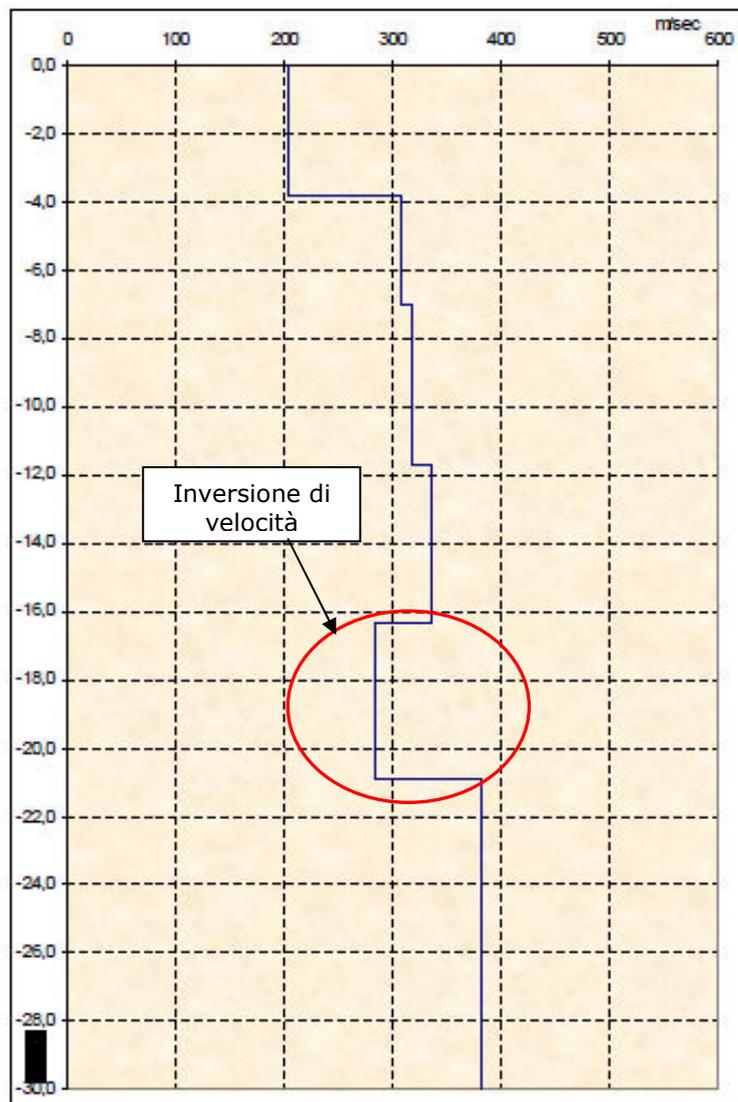


Figura 4 – Diagramma velocità onde di taglio V_s nei primi 30m con la profondità per la MASW1 eseguita lungo il lato sud del comparto ANS C.3 (sub. c/d) (Fonte: Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

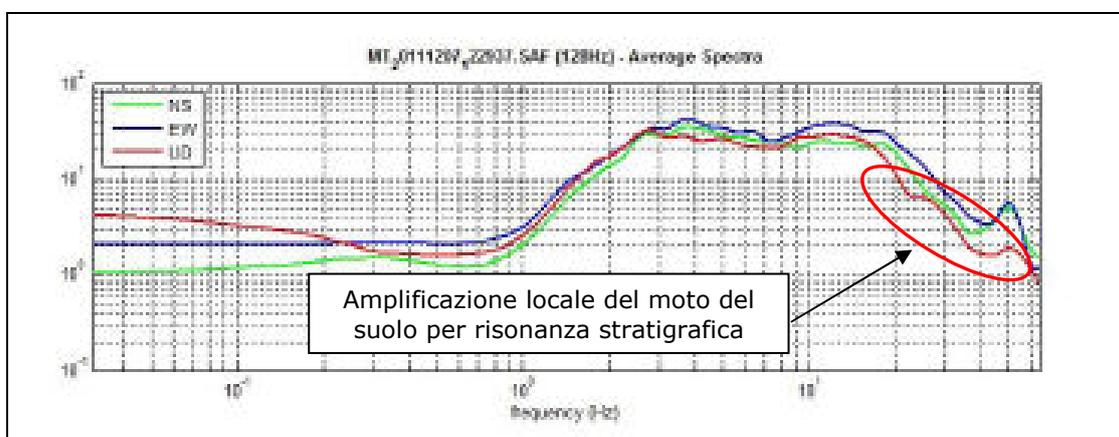


Figura 5 – Spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate in sito mediante misura HVSR (Fonte: Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011, mod.).

Dalla interpolazione dei dati ottenuti dalle indagini MASW 1 e 2 con quelli provenienti dalle misure di HVSr è stato stimato un *bed-rock* sismico a circa 100m da p.c. ed una frequenza di vibrazione fondamentale del terreno compreso tra il piano campagna ed il *bedrock* pari a 0.87Hz (Figura 6).

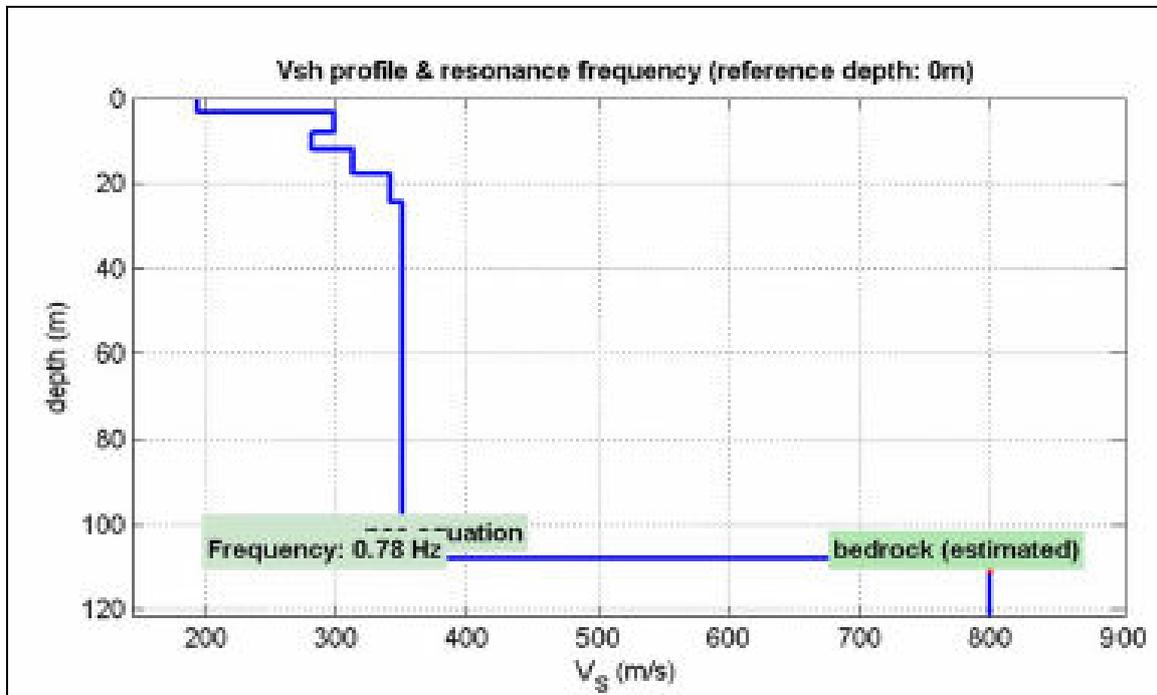


Figura 6 – Stima della profondità del *bedrock* sismico (Fonte: Relazione Geologica-Geotecnica e Sismica Dott. Geol. Valeriano Franchi, dicembre 2011).

5. INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SITO

5.1 PREMESSA

Al fine di ricostruire un modello sismico dell'area oggetto del presente lavoro, nel marzo 2014 sono state eseguite le seguenti indagini in sito, di tipo sismico:

- n°1 indagine geofisica di tipo attivo mediante l'esecuzione di n°1 stendimento MASW lungo circa 30m;
- n°2 indagini geofisiche di tipo passivo tramite misure HVSR.

Nei successivi paragrafi si discutono nel dettaglio le modalità esecutive delle indagini geofisiche eseguite in sito.

Le ubicazioni di suddette prove rispetto all'interno dell'area in oggetto sono riportate in Figura 18 della Relazione Geologica a cui si rimanda; le foto di esecuzione delle medesime ed i relativi certificati sono invece riportati nell'Allegato del presente lavoro.

5.2 INTRODUZIONE GENERALE

La tecnica MASW venne introdotta per la prima volta nell'ambito della comunità geofisica e geotecnica agli inizi del 1999. La *Multichannel Analysis of Surface Waves* è un metodo sismico mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità (V_s -profondità), attraverso l'analisi delle onde superficiali tipo Rayleigh (onde R).

Tale tecnica permette quindi di ottemperare a quanto previsto nel D.M. 14-01-08 "Norme Tecniche per le Costruzioni", secondo il quale i terreni, su cui devono essere eseguite opere edili di una certa rilevanza, devono essere classificati sulla base del parametro $V_{s,30}$; esistono diversi tipi di onde superficiali, oltre alle già citate onde di Rayleigh ($P+S_v$), si conoscono le onde di Love (S_h) e le onde di Lamb.

Le onde di Rayleigh rappresentano la componente principale delle onde superficiali e sono generate dall'interazione tra onde di compressione (o di volume) P e onde di taglio verticali S_v ogniqualvolta si è in presenza di una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

Le onde R si propagano alla superficie libera con un moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte alla profondità di $l/2p$ (dove l è la lunghezza d'onda);

l'ampiezza di tale spostamento decresce secondo una legge esponenziale, pertanto diviene rapidamente trascurabile con la profondità.

L'utilizzo delle onde superficiali di tipo Rayleigh per la costruzione di un profilo di velocità delle onde di taglio V_s è giustificato da una serie di fattori:

- la percentuale di energia convertita in onde R è nettamente predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione di onde P (7%) e onde S (26%);
- il metodo d'analisi basato sulle onde R non è limitato, al contrario del metodo basato sulla rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità;
- buona risoluzione, a differenza della tecnica a riflessione;
- la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p (velocità delle onde di compressione P) e dalla densità del mezzo, è funzione innanzitutto della V_s che rappresenta appunto il parametro fondamentale per la caratterizzazione geotecnica di un sito;
- la tecnica in questione è inoltre particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti ed ambienti rumorosi.

Tenuto conto dei fattori sopraelencati, l'elemento fondamentale che permette l'impiego di tecniche basate sulle onde superficiali, in questo caso la tecnica MASW e le onde Rayleigh, è una caratteristica chiamata dispersione. La dispersione è una proprietà delle onde superficiali che consiste nella deformazione di un treno d'onde dovuta alla variazione di velocità di propagazione al variare della frequenza. Per le onde R questa variazione si manifesta solo all'interno di un mezzo stratificato.

In altre parole, ipotizzando una variazione di densità del terreno in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga con una differente velocità (velocità di fase), e quindi con una diversa lunghezza d'onda; questa proprietà si chiama appunto dispersione.

La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda l (e quindi per una certa frequenza n) è influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $l/2$ (anche se recenti studi hanno posto questo limite a $l/2.5$).

Inoltre, la velocità delle onde R (V_r) è pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Secondo quanto detto appare chiaro come la costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità

fondamentale delle onde di Rayleigh, sia una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

5.3 TECNICA MASW: PROCEDURA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La procedura MASW si può sintetizzare in tre stadi successivi e distinti:

- acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- costruzione della curva di dispersione: grafico velocità di fase V_r -frequenza n ;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale della V_s .

La prima fase viene effettuata direttamente in campagna generando un treno di onde superficiali mediante l'utilizzo di una sorgente sismica attiva, quale generalmente una mazza battente, e uno stendimento lineare di geofoni ricevitori. L'indagine svolta nel presente lavoro è stata condotta utilizzando la strumentazione DOLANG JEA 24. La geometria dello stendimento utilizzato è sintetizzata in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Specifiche geometriche dello stendimento sismico mediante tecnica MASW eseguito presso l'area d'indagine.

ID STENDIMENTO	LUNGHEZZA	PASSO INTERGEOFONICO	N° DI GEOFONI IMPIEGATI	FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO
MASW	36.00m	3.00m	12	4000Hz

Mediante il *software* si procede alla lettura dei dati acquisiti (*common-shot gather*) e al calcolo dello spettro nel dominio frequenza-numero d'onda (spettro f-k). Quindi, dallo spettro f-k è possibile estrarre la curva di dispersione apparente sperimentale mediante una doppia trasformata di *Fourier* applicata al campo di moto misurato nel dominio spazio-tempo; l'ultimo passo da affrontare è l'inversione della curva di dispersione precedentemente costruita.

Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione basata su algoritmi genetici; il risultato finale è quello di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s .

In Tabella 5.2 vengono riassunte le caratteristiche di acquisizione per il metodo di MASW attiva, mentre in Figura 13 è riportata l'ubicazione di tale indagine e nella Foto 3 dell'Allegato la sua esecuzione.

Tabella 5.2 – Specifiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione per la MASW.

MODELLO SISMOGRAFO	RISOLUZIONE	N° CANALI	SORGENTE	FREQUENZE GEOFONI	TIPOLOGIA GEOFONI	VELOCITA' DI CAMPIONAMENTO
Dolang	24bit	24	Mazza da 10kg	4.5Hz	verticali	0.25ms

5.4 TECNICA HVSR: PROCEDURA E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il metodo HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito

Il rumore sismico, presente ovunque e generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) sia dall'attività antropica, è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu\text{m/s}$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia *et al.*, 2007).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 12-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con notevole dinamica, elevato guadagno ed alta frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

L'acquisizione è stata eseguita utilizzando un tromografo digitale, "TROMINO ENGY" (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a $\sim 1.5 \text{ mm/s}$); il sistema opera nell'intervallo di frequenze 0.1÷1024 Hz.

L'elaborazione dei dati di rumore sismico acquisiti è avvenuta mediante software Grilla[®]; in Tabella 5.3 vengono riassunte le caratteristiche tecniche della misura mediante tromografo digitale eseguita in sito, l'ubicazione di tali indagini è riportata in Figura 9, mentre la loro esecuzione è riportata nelle Foto 4-5 in Allegato.

Tabella 5.3 – Specifiche delle misure effettuate in sito mediante tromografo digitale.

ID PROVA	MODELLO TROMOGRAFO	CANALI VELOCIMETRICI	SORGENTE	FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO	LUNGHEZZA DI REGISTRAZIONE	LUNGHEZZA FINESTRE DI ANALISI
T1	Tromino® Engy	N-S; E-W UP-DOWN	Rumore ambientale	128 Hz	15min	20 sec
T2	Tromino® Engy	N-S; E-W UP-DOWN	Rumore ambientale	128 Hz	15min	20 sec

6. MODELLAZIONE SISMICA DELL'AREA D'INDAGINE

6.1 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE IN SITO

In generale nei primi 30 m da p.c., l'elaborazione dei dati ottenuti dallo stendimento MASW e dalle misure HVSR1 e HVSR2 ha evidenziato come i terreni presenti in sito siano caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di terreni da media consistenza (limi argillosi/sabbiosi) a medio alta consistenza (ghiaie in matrice) il cui modo fondamentale risulta essere quello riportato in Figura 7.

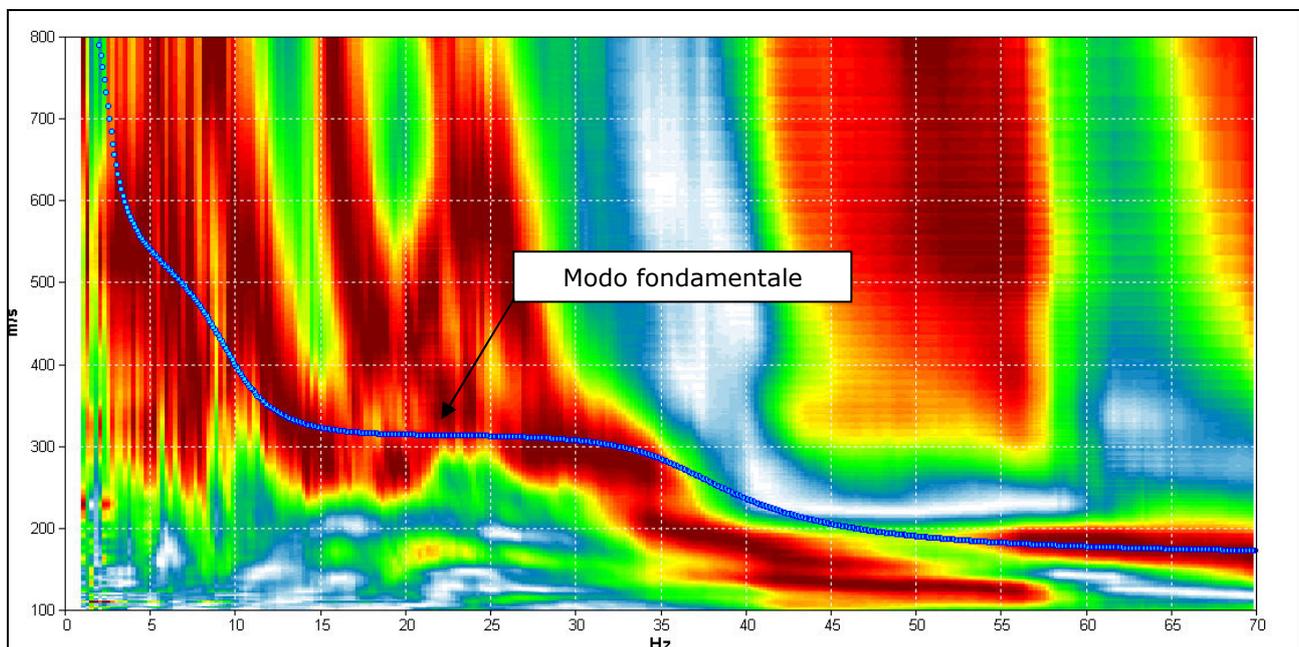


Figura 7– Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW. In blu è riportato il modo fondamentale della curva di dispersione teorica.

In particolare l'indagine MASW ha permesso di ricostruire la presenza di n°5 sismostrati più il semispazio infinito come riportato in Tabella 6.1 ed evidenziato in Figura 8.

Tabella 5.1 – Sismostrati individuati dall'indagine geofisica attiva MASW, relativi spessori e velocità media ponderata delle onde di taglio S.

SISMOSTRATO	PROFONDITA' ALLA BASE DELLO STRATO (m da p.c.)	SPESSORE (m)	V_s (m/s)
1	2.00	2.00	180
2	8.00	6.00	450
3	13.00	5.00	330
4	43.00	30.00	600
5	93.00	50.00	650
6	inf	inf	1000

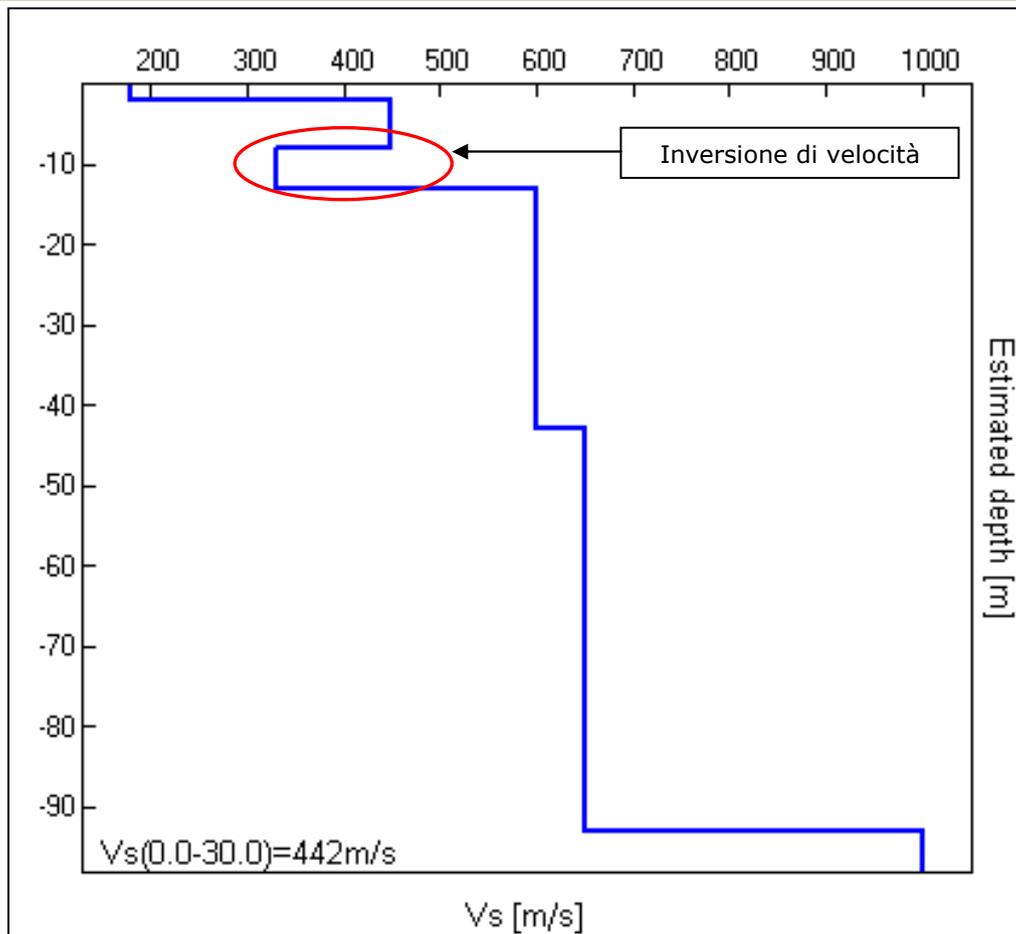


Figura 8 – Andamento delle velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da tecnica H/V con la profondità. In rosso viene evidenziata l'inversione di velocità.

Le curve HVSR ottenute sperimentalmente, per frequenze <20Hz, sono del tutto confrontabili tra loro e caratterizzate da lievi irregolarità e deviazioni alla planarità legate a stratificazioni a basso contrasto d'impedenza nel sottosuolo.

Da sottolineare come per frequenze comprese tra 20÷30Hz è invece presente in HVSR1 una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica a contrasto d'impedenza molto alto con picco H/V a circa 24Hz (Figura 9).

In HVSR2, l'amplificazione locale registrata in HVSR1 si osserva circa nello stesso intervallo di frequenza, tuttavia il picco H/V è notevolmente meno ampio (Figura 10).

Sulla base di quanto riportato in Tabella 5.1 e Figura 8, la Categoria di sottosuolo per il terreno oggetto del presente lavoro, determinata unicamente sulla base dei risultati delle prove geofisiche descritte (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità), secondo l'approccio semplificato del D.M. 14-01-08 è **$V_{s,30} = 442 \text{ m/s}$** .

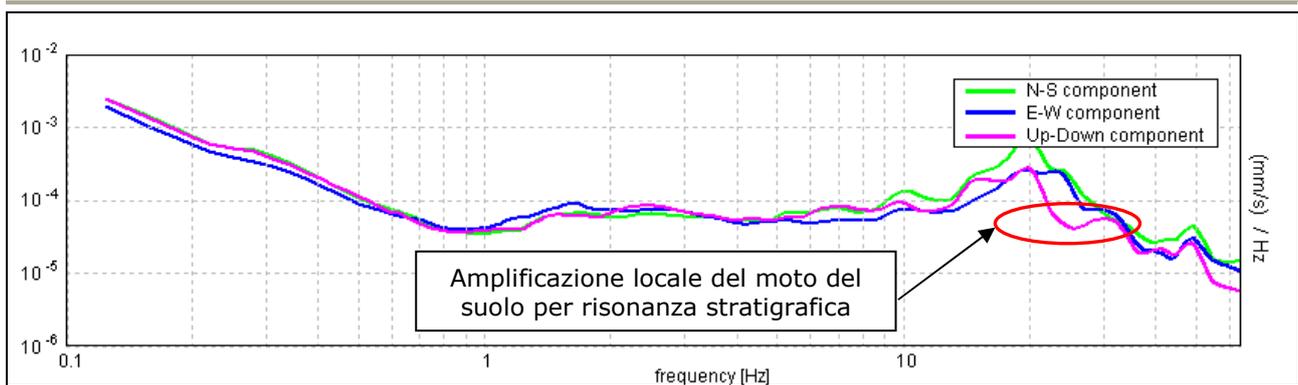


Figura 9 – Spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate in sito per l'indagine HVSR1.

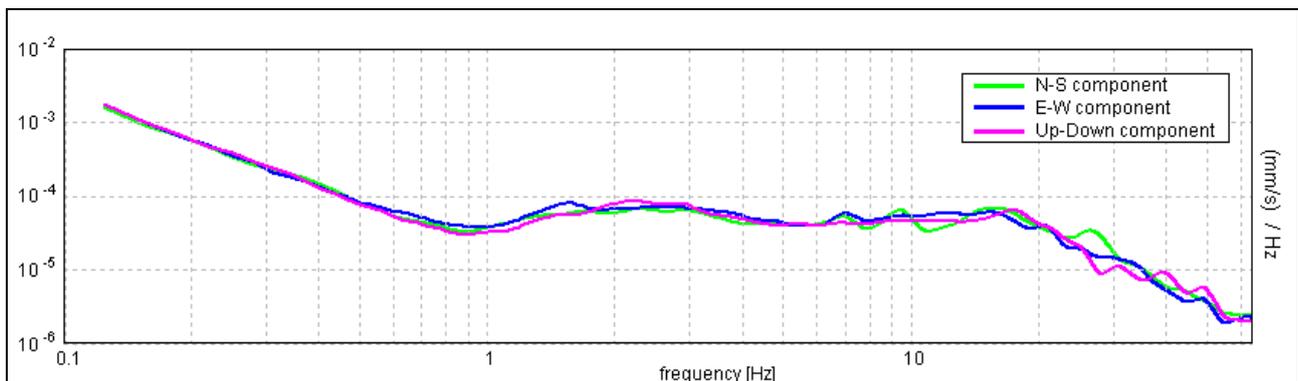


Figura 10 – Spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate in sito per l'indagine HVSR2.

Per la Tabella 3.2.II del suddetto Decreto, un tale valore di $V_{s,30}$ classifica il sottosuolo dell'area d'indagine nella **Categoria B** caratterizzata da "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)."

L'incertezza sul valore calcolato di V_{s30} è dell'ordine del 20% (cfr. Mulargia e Castellaro, 2009, *Seism. Res. Lett.*, 80, 985-989).

A conferma della corrispondenza della Categoria di sottosuolo identificata mediante indagini geofisiche e terreno indagato, dal modello geologico redatto e riportato nella Tabella 8.2 della Relazione Geologica, risulta come i terreni a grana fina limoso argillosi siano caratterizzati sempre da valori di coesione non drenata $c_u > 50$ kPa; le prove SPT eseguite hanno sempre restituito valori $N_{SPT} > 15$.

6.2 MODELLO SISMICO DEL SITO

In Figura 11 si riporta il modello sismico dell'area oggetto del presente lavoro ricavato dall'analisi dei risultati ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite in sito; tale modello è stato spinto fino a 30m da p.c. e sovrapposto a quello geologico allo scopo di tentare di mettere in relazione le litologie incontrate e discretizzate nel sottosuolo con i sismostrati stimati.

Da suddetta figura si può notare come i terreni superficiali limoso argillosi e sabbiosi siano caratterizzati da valori di velocità media delle inferiori ai 200m/s fino a circa 2m da p.c.

Successivamente si ha un netto aumento della velocità delle onde S con un valore di $V_s=450\text{m/s}$ fino a 8m da p.c. per la presenza di litologie più consistenti quali le ghiaie in matrice sabbiosa e le sabbie.

Tra 8÷13m da p.c. in corrispondenza dell'ultima porzione della frazione sabbiosa e per la successiva aliquota delle ghiaie in matrice sabbiosa è stata rilevata una marcata inversione di velocità delle onde di taglio che diminuisce da $V_s=450\text{m/s}$ ad un valore di $V_s=330\text{m/s}$ (si veda anche Figura 8).

A partire da circa 13 m da p.c. la velocità delle onde S assume un trend positivo crescente.

In particolare nel successivo passaggio all'alternanza di limi argillosi-sabbie prima, limi argillosi e ghiaie e successivamente limi argillosi e sabbie grossolane, si assiste ad un nuovo netto incremento della velocità delle onde S che fino a 43m da p.c. risulta essere pari a $V_s=600\text{m/s}$.

Al di fuori del modello geologico presentato, da 43m da p.c. a 93m da p.c., la media ponderata della velocità delle onde S aumenta nuovamente attestandosi su di un valore pari a $V_s=650\text{m/s}$.

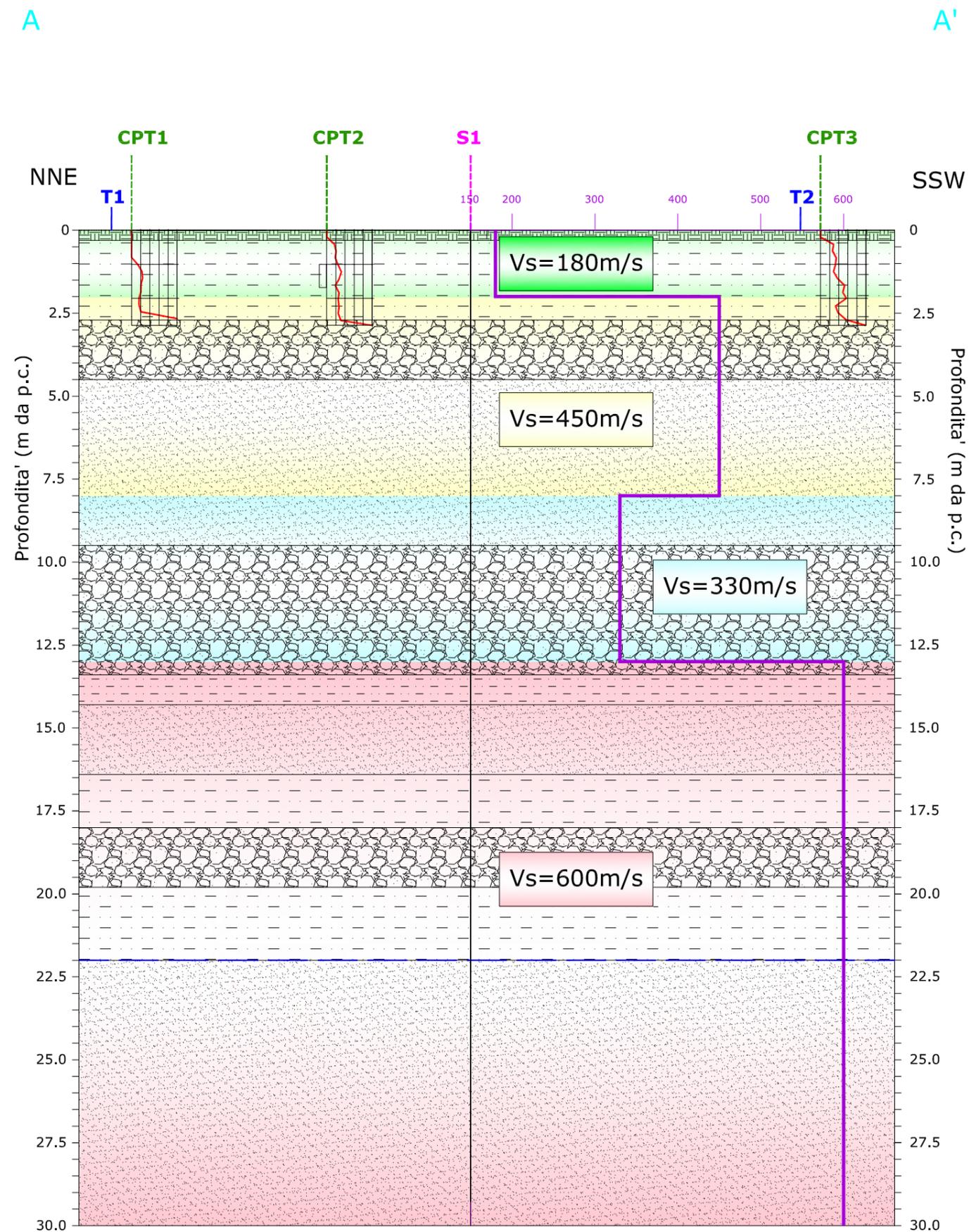
PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO
 - PUA -
 COMPARTO ASP.C.r

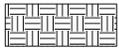
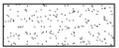
RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

- II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO -
 (ai sensi del D.M. 14-01-08)

MODELLO SISMICO DELL'AREA D'INDAGINE



DESCRIZIONE UNITA' LITOLOGICHE

-  = Terreno vegetale
-  = Limo argilloso e sabbioso
-  = Ghiaia da fine a grossolana in matrice sabbiosa
-  = Sabbia da fine a grossolana

Legenda

-  S1 = Sondaggio a carotaggio continuo
-  CPT1 = Prova penetrometrica a punta meccanica
-  = Profilo resistenza alla punta qc (valori in kg/cm²)
-  A A' = Traccia della sezione di Figura 18 della Relazione Geologica
-  = Livello di falda rilevato all'interno del sondaggio S1
-  = Sismostrato individuato mediante fit congiunto di tecnica MASW e HVSr e relativo valore medio della velocità delle onde di taglio (si veda la Tabella 5.1 della Relazione sulla Modellazione sismica)
-  T2 = Indagine geofisica HVSr
-  = Profilo velocità delle onde di taglio S (m/s) con la profondità ottenuto tramite interpolazione MASW e HVSr (modello medio sotto il profilo effettuato)

SCALA VERTICALE 1:150
 SCALA ORIZZONTALE 1:600

FIGURA 11

6.3 FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Come riportato nel Capitolo 3, le interpolazioni dei dati ricavati da indagini geofisiche per il comparto ANS C.3 (sub. c/d) attiguo all'area in oggetto hanno individuato un *bedrock* a circa 100m da p.c.

In base al modello sismico ricavato per il sito in oggetto, come risulta dalla Figura 6 e dalla Tabella 5.1, ad una profondità di circa 93m da p.c. si ha una velocità delle onde S pari a $V_s=650\text{m/s}$ che può essere ragionevolmente considerata quella vicina al *bedrock* sismico della zona.

A tal proposito la Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna al di sotto della coltre dei depositi di conioide quaternari, pone la base del Sistema Emiliano-Romagnolo, da considerare come *bedrock* sismico, ad una quota inferiore a -50m slm; poiché l'area risulta avere una quota media di circa 74m slm, risulta una profondità stimata dal piano campagna del *bedrock* sismico di circa 120m da p.c.

Si ritiene pertanto corretto ipotizzare un *bedrock* sismico ad una profondità leggermente inferiore ai 100m da p.c.

Per la stima dei Fattori di Amplificazione (F.A.) locale le variabili in gioco sono:

- F.A. P.G.A. (Peak Ground Acceleration): rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{\max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{\max,s}$) alla frequenza f . Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- F.A. S.I.-Intensità Spettrale di Housner: indicatore della pericolosità sismica, è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità, per i due intervalli di frequenze, rispettivamente pari a $0.1 < T_0 < 0.5\text{s}$ e da $0.5 < T_0 < 1\text{s}$.

Ai sensi dell'Allegato A2 della Delibera della Regione Emilia-Romagna n.112/2007, che fornisce le tabelle e le formule per il calcolo dei fattori di amplificazione sismica per analisi di secondo livello, l'area d'indagine si ritiene possa ricadere nell'ambito PIANURA1 caratterizzato "da profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (<100 m da p.c.)"

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Poiché l'indagine geofisica MASW ha restituito un valore di velocità media ponderata delle onde di taglio S nei primi 30m da p.c. pari a $V_{s,30}=442\text{m/s}$, i fattori di amplificazione per l'area d'indagine risultano ragionevolmente essere quelli di seguito riassunti:

- *F.A. P.G.A.: 1.5;*
- *F.A. INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER $0.1 < T_0 < 0.5\text{s}$: 1.6;*
- *F.A. INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER $0.5 < T_0 < 1\text{s}$: 1.7.*

7. VALUTAZIONE DELLE PERICOLOSITA' SISMICHE DEL SITO

7.1 VALUTAZIONE DELLA POSSIBILE AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA

Il sito in oggetto dal punto di vista geomorfologico ricade nelle zone di alta pianura, in prossimità dei rilievi collinari; la topografia dell'area è pressoché pianeggiante con piccole variazioni di quota assoluta.

Non si ritiene pertanto che nella zona oggetto del presente lavoro possano verificarsi fenomeni di amplificazione topografica in caso di sisma

In merito alla possibile amplificazione stratigrafica, come già evidenziato dalle indagini sismiche effettuate in sito (MASW e HVSR), nell'indagine HVSR1 è stata rilevata una amplificazione significativa del moto del suolo per risonanza stratigrafica nel *range* di frequenza tra 20÷30Hz con un picco del rapporto H/V a circa 24Hz; a tal proposito si veda la Figura 9 dove vengono riportati gli spettri di andamento delle velocità delle 3 componenti del moto (N-S, E-W e UP-DOWN).

In tale figura è possibile notare come la componente di velocità del moto UP-DOWN, di colore Magenta, sia sempre al di sotto delle altre due componenti nel range di frequenza 20÷30Hz; in particolare a 24Hz si forma la componente *UP-DOWN* forma un'ogiva rispetto alle altre due, indice proprio di un picco di rapporto H/V.

7.2 VALUTAZIONE DELLA POTENZIALE LIQUEFAZIONE

Il Paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M.14-01-08 asserisce che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di *free-field*, campo libero) minori di 0,1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna;
4. depositi di sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{ciN} > 180$;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 12 nel caso di terreni con coefficienti di Uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 13 nel caso di terreni con coefficiente di Uniformità $U_c > 3.5$.

Qualora non risultino soddisfatte le condizioni 1 e 2, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 3, 4 e 5.

Infine qualora nessuno dei punti 1-5 sopra riportati risulti soddisfatto ed il terreno di fondazione comprenda estesi strati o lenti spessi di sabbia sciolta sotto falda occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Tale verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico empirico, in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

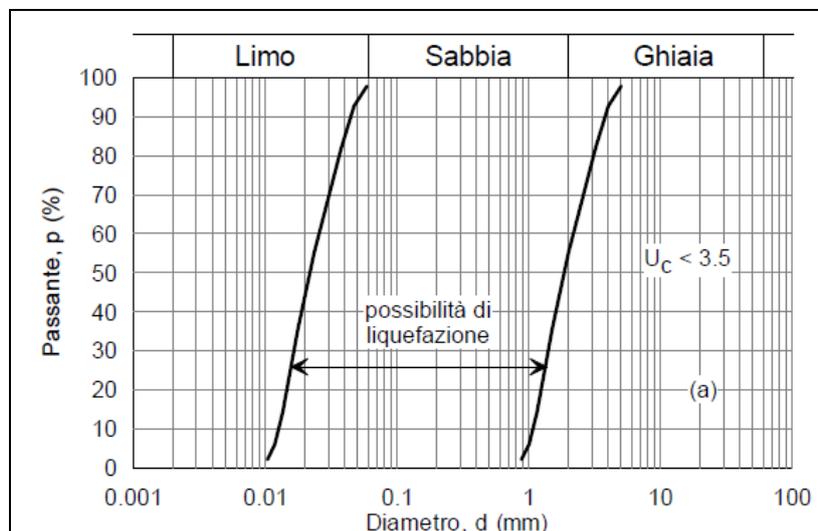


Figura 12 – Fuso granulometrico con possibilità di liquefazione per coefficiente di Uniformità $U_c < 3.5$
(Fonte: Figura 7.11.1(a) del D.M. 14-01-08).

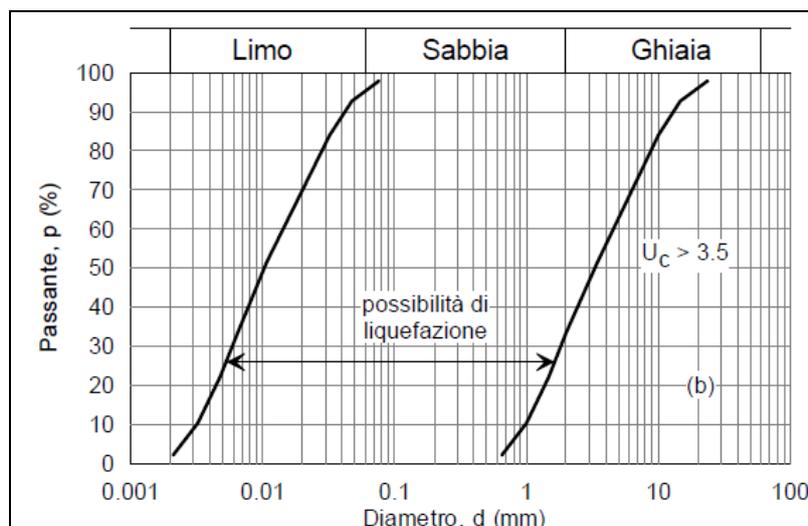


Figura 13 – Fuso granulometrico con possibilità di liquefazione per coefficiente di Uniformità $U_c > 3.5$
(Fonte: Figura 7.11.1(b) del D.M. 14-01-08).

In merito al punto 1, come già riportato nella Relazione sulla modellazione sismica, il Database delle Osservazioni Macrosismiche dei terremoti Italiani (DBMI11) compilato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), restituisce una storia sismica per il Comune di Bologna di n.183 eventi sismici dal 1065 al 2004 con valori di Magnitudo M_w compresi tra 4.09-7.00. Il punto 1 non risulta pertanto soddisfatto.

In merito al punto 2, l'Allegato A4 della Delibera 112/2007 della Regione Emilia-Romagna assegna al territorio del Comune di San Lazzaro di Savena un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), pari a $a_{refg}=0.172$, e pertanto anche questo secondo punto non viene soddisfatto.

Per quanto concerne il punto 3, dalle indagini in sito e dalla consultazione della cartografia dei Piani Normativi Sovraordinati (PTCP, PSAI e PSC), risulta come i terreni dell'area d'indagine appartengano ad un terrazzo fluviale non connesso alla circolazione idrica del Torrente Idice e che i sedimenti granulari sabbiosi e ghiaiosi presenti in superficie siano insaturi.

In particolare come emerge dalle carte piezometriche della zona e come risulta dal livello di soggiacenza misurato nel foro del Sondaggio S1 al termine della perforazione, il livello di falda medio della zona è maggiore di 20m m da p.c. per tutto l'arco dell'anno idrologico.

Alla luce di quanto sopra riportato, il punto 3 è ampiamente soddisfatto e pertanto non è necessario procedere con analisi di tipo empirico ingegneristico in quanto *i terreni presenti sono da considerare non liquefacibili.*

8. INDIVIDUAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI

Allo stato attuale non si conoscono i dettagli del progetto di costruzione sul terreno oggetto del presente lavoro da sottoporre a PUA; come riportato nella Figura 9 della Relazione Geologica, dalla classificazione delle aree secondo il PSC del Comune di San Lazzaro, la zona in oggetto ricade negli ambiti produttivi di interesse comunale da riqualificare.

Da quanto appreso in via preliminare dal Progettista, l'area sarà deputata alla costruzione di edifici del tipo ordinario con affollamento normale ad uso produttivo, commerciale e/o terziaria escludendo pertanto strutture con interesse pubblico e con affollamenti importanti di persone.

Si sottolinea come le elaborazioni di seguito riportate siano da intendersi del tutto preliminari allo scopo di fornire indicazioni sui principali parametri e coefficienti sismici dell'area; la scelta della strategia di progettazione, gli stati limite da considerare ed i parametri sismici di riferimento dovranno essere ricavati una volta che sarà decisa dal Progettista/Strutturista la tipologia di edifici da realizzare e la loro effettiva destinazione d'uso.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito rigido di riferimento con superficie topografica orizzontale (Categoria di sottosuolo A), nonché di ordinate di spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Per ciascuna probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} le forme spettrali sono definite a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Per poter valutare l'azione sismica del terreno appartenente all'area di indagine è necessario individuare la zona secondo le coordinate longitudine e latitudine allo scopo di poter definire i parametri sismici fondamentali per lo studio e la valutazione delle azioni sismiche di progetto.

Il sito d'indagine è individuato dalle seguenti coordinate (ED50):

- Latitudine (°decimali): 44.454521
- Longitudine (°decimali): 11.428054.

Tale punto ricade all'interno dei quattro nodi del reticolo in cui è suddiviso il territorio italiano riportati in Tabella 8.1 ed in Figura 14 ricavata mediante il *Software NTCsisma*© (2010).

Tabella 8.1 – Codici identificativi e coordinate del reticolo di riferimento comprendenti l'area di indagine.

N	ID	LATITUDINE (° decimali)	LONGITUDINE (° decimali)	DISTANZA DAL PUNTO D'INTERESSE (m)
1	16954	44.467480	11.459280	2866.6
2	17176	44.417500	11.460970	4876.1
3	17175	44.416280	11.391050	5168.5
4	16593	44.466270	11.389300	3341.6

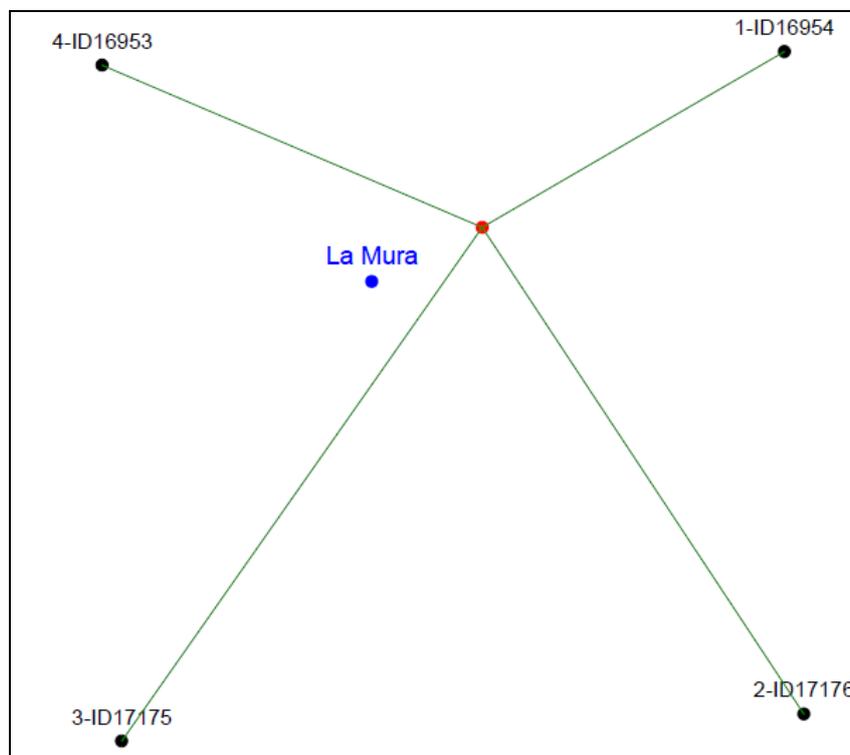


Figura 14 – Individuazione dell'area d'indagine all'interno dei nodi del reticolo di riferimento (fonte: *Software NTCsisma*©-2010).

In generale le azioni sismiche su una costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento P_{VR} funzione del tipo di costruzione e dipendente dai coefficienti vita nominale V_N e classe d'uso C_u secondo la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Ipotizzando quindi opere ordinarie, prive di funzioni pubbliche e caratterizzate da affollamento normale di persone, i valori dei coefficienti e del periodo di riferimento risultano essere quelli riassunti in Tabella 8.2.

Tabella 8.2 – *Periodo di riferimento per l'azione sismica nell'area di indagine.*

COEFFICIENTE	DESCRIZIONE	VALORE
Vita nominale (V_N)	Opere ordinarie	≥ 50
Classe d'uso	II – Affollamento normale. Assenza di funzioni pubbliche	
Coefficiente d'uso (C_u)	-	1
Periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = V_N \cdot C_u = 50$anni		

In generale le opere e loro componenti strutturali devono essere progettate, eseguite e collaudate in maniera tale da garantire i livelli di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o parte di essa devono essere valutati in relazione agli Stati Limite, intesi come quella condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

Le opere devono pertanto essere progettate possedendo i requisiti di sicurezza nei confronti di tali Stati Limite siano SLU o SLE; il superamento di uno Stato Limite Ultimo (SLU) ha carattere irreversibile, mentre il superamento di uno Stato Limite di Esercizio (SLE) può avere carattere reversibile o irreversibile.

Le due famiglie principali di Stati Limite (SL) sono così definite:

• **Stato Limite di Esercizio (SLE):**

- 1) Stato Limite di salvaguardia della vita (SLV);
- 2) Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

• **Stato limite Ultimo (SLU):**

- 2) Stato Limite di Opertività (SLO);
- 3) Stato Limite di Danno (SLD).

In funzione delle categorie di sottosuolo (B) e topografica (T_1) del sito individuate nel Capitolo 6, si ricavano di seguito i parametri ed i coefficienti sismici di riferimento per ciascun Stato Limite considerato in relazione all'ipotesi progettuale fatta di strutture ad uso commerciale/produttivo del tipo non strategico e caratterizzate da normali affollamenti di persone.

L'utilizzo di suddetti parametri nelle formule indicate in Normativa permette la ricostruzione degli spettri di risposta elastica per le componenti orizzontale e verticale.

In Tabella 8.3 vengono riassunti i parametri sismici, mentre in Tabella 8.4 i rispettivi coefficienti sismici.

Tabella 8.3 – Parametri sismici ricavati per ciascun Stato Limite.

STATO LIMITE	PROBABILITA' DI SUPERAMENTO (%)	Tr (anni)	ag (g)	Fo	Tc* (sec)
SLO	81	30	0.057	2.468	0.259
SLD	63	50	0.072	2.450	0.270
SLV	10	475	0.176	2.399	0.304
SLC	5	975	0.221	2.432	0.314

Tabella 8.4 – Coefficienti sismici ricavati per ciascun Stato Limite.

STATO LIMITE	Ss	Cc	St	Kh	kv	Amax	Beta
SLO	1.200	1.440	1.000	0.014	0.007	0.672	0.200
SLD	1.200	1.430	1.000	0.017	0.009	0.846	0.200
SLV	1.200	1.400	1.000	0.051	0.025	2.069	0.240
SLC	1.180	1.390	1.000	0.073	0.037	2.561	0.280

Dove:

- a_g : accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale;
- S_s : Coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T : Coefficiente di amplificazione Topografica;
- S : coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni stratigrafiche;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale;
- K_h : coefficiente sismico orizzontale;
- K_v : coefficiente sismico verticale;
- A_{max} : accelerazione massima;
- $Beta$: coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa.

Si ricorda che per i coefficienti sismici riportati in Tabella 8.4 sono stati ricavati mediante le seguenti relazioni:

- $S = S_s \cdot S_T$;
- $a_{max} = S \cdot a_g$;
- $k_v = \pm 0.5 k_h$;
- $k_h = \beta_s \cdot (a_{max}/g)$.

Nelle Figura 15, mediante il *Software Spettri NTCvers 1.0.3* fornito gratuitamente *on-line* dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.), immettendo i dati di individuazione del punto e quelli della scelta progettuale supposta, sono stati ricavati gli Spettri di Risposta Elastica in accelerazione per gli Stati Limite considerati.

Per la creazione di suddetti Spettri è stato utilizzato un coefficiente di smorzamento viscoso $\xi = 5\%$ ed un fattore che altera lo spettro elastico $\eta = 1.000$.

Per passare dagli Spettri elastici S_E di riferimento per tutti gli Stati Limite a quelli di progetto S_D sarà necessario modificare tali Spettri con l'introduzione nel *software Spettri NTC* delle seguenti informazioni:

- categoria di sottosuolo (B);
- categoria topografica (T1);
- fattori q e q_0 ;
- regolarità dell struttura in altezza.

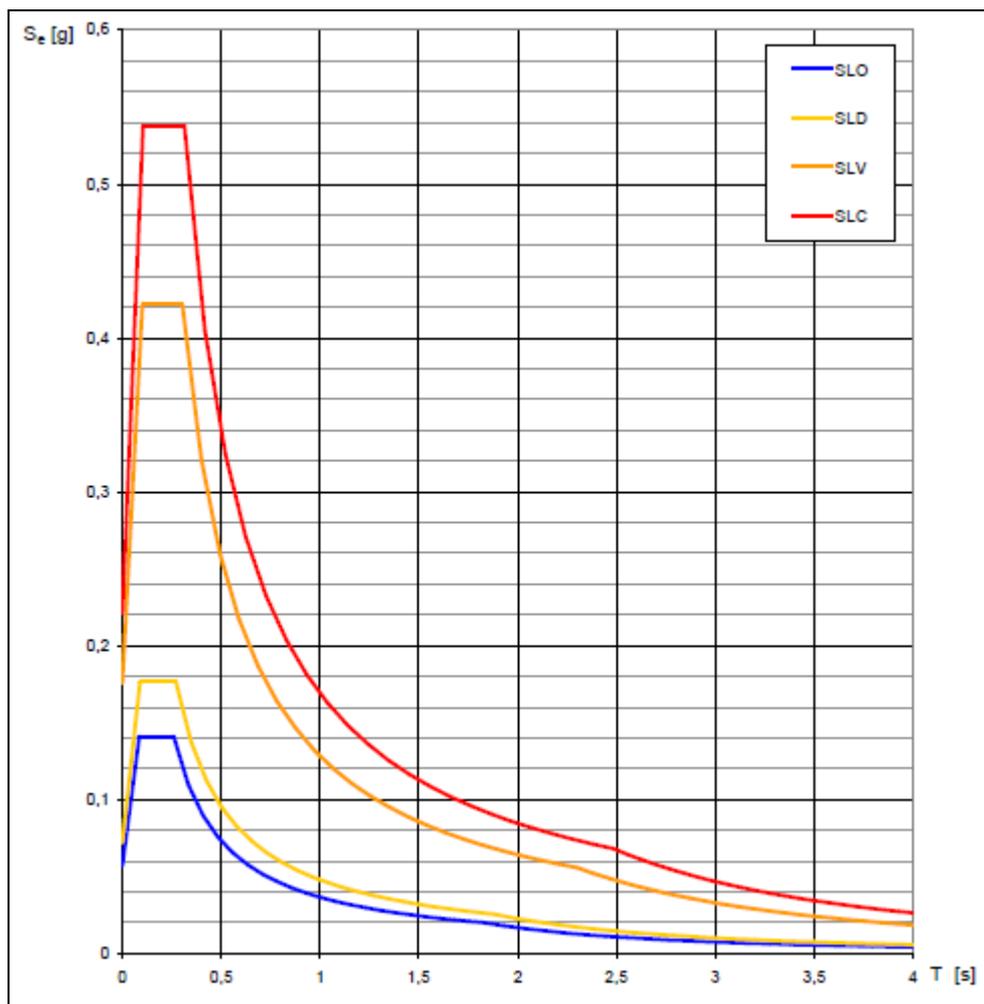


Figura 15 – Spettri di Risposta Elastica in accelerazione per gli Stati Limite considerati.

Inoltre una volta nota le/la tipologie/a di strutture/a da edificare ed il/i suo/loro periodo/i di vibrazione fondamentale T_1 , plottando sull'ascissa tali/e valori/e negli Spettri di progetto S_D , sarà possibile ricavare in ordinata i rispettivi fattori sismici k da utilizzare nelle verifiche alle prestazioni attese in campo sismico, in particolare (Figura 16):

- dallo Spettro di Progetto dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) si ricava il fattore k_v dalla componente verticale da utilizzare per la verifica al carico limite sismico;
- dal medesimo Spettro ma considerando la componente orizzontale, si ricava il fattore inerziale k_{hi} da utilizzare per il taglio sismico alla base della fondazione per la verifica allo scorrimento;
- dallo Spettro di Progetto dello Stato Limite di Danno (SLD) si ricava il fattore $k_{v,SLD}$ dalla componente verticale da utilizzare per la verifica ai cedimenti sismici.

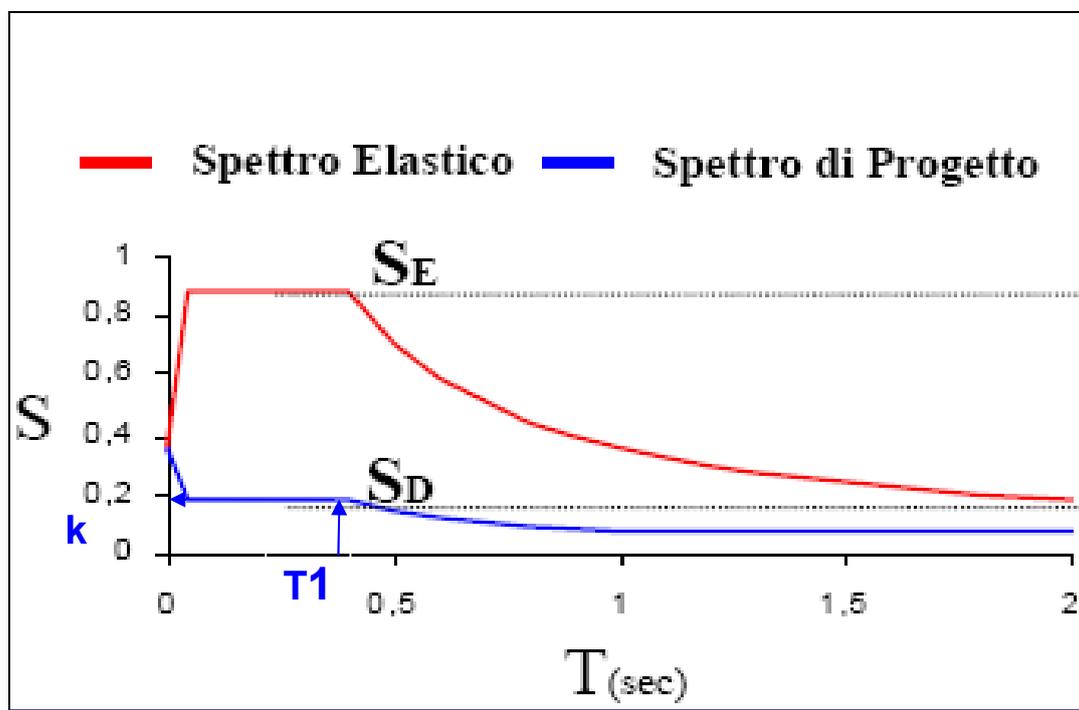


Figura 16 – Passaggio dallo Spettro Elastico S_E a quello di Progetto S_D e determinazione dei coefficienti sismici k per le verifiche delle prestazioni attese in campo sismico per gli Stati Limite considerati (Fonte: Prof. Eros Aiello-Università degli Studi di Siena.Slides del Corso NTC-Teoria ed applicazioni nella progettazione geologica e geotecnica, c/o CGT, gennaio-febbraio 2011).

9. CONCLUSIONI

Nel mese di marzo 2014 la Finda Srl, con sede in via Rubbiani 6/2 a Bologna, ha incaricato lo scrivente di eseguire delle indagini geofisiche, oltre a quelle geologiche già discusse in precedenza, e di redigere la presente Relazione sulla modellazione sismica del sito ai sensi del D.M. 14-01-08.

Scopo di tali indagini è quello di caratterizzare un'area di sua proprietà ubicata in via Palazzetti nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO); tale terreno affinché possa essere dichiarato edificabile dall'autorità comunale deve essere sottoposto alla procedura di approvazione di un Piano Urbanistico Attuativo (PUA) appartenente al comparto ASP.C.r.

Trattandosi di un'area non di interesse pubblico e sulla quale non sono previste opere strategiche, come da elenco delle Norme del POC del Comune di San Lazzaro, si è proceduto con un'analisi semplificata del II livello di approfondimento.

Nel mese di marzo 2014 sono state effettuate le seguenti attività:

- n°1 indagine geofisica attiva mediante stendimento MASW;
- n°2 indagini geofisiche passive mediante misure HVSR.

L'analisi della cartografia del Piano Strutturale Comunale di San Lazzaro unitamente alle indagini geofisiche eseguite precedentemente al contorno del sito hanno permesso di inquadrare l'area in oggetto dal punto di vista sismico in via preliminare.

I risultati delle indagini in sito e la loro elaborazione hanno consentito la ricostruzione del modello sismico locale che è stato sovrapposto a quello geologico al fine di confrontare le Unità geologiche discretizzate con i sismostrati individuati nelle indagini geofisiche.

In generale nei primi 30 m da p.c., l'elaborazione dei dati ottenuti dallo stendimento MASW e dalle misure HVSR1 e HVSR2 ha evidenziato come i terreni presenti in sito siano caratterizzati da valori di velocità delle onde S, (Vs), caratteristici di terreni da media consistenza (limi argillosi/sabbiosi) a medio-alta consistenza (ghiaie in matrice sabbiosa).

Nello specifico è stato possibile verificare come i terreni superficiali limoso argillosi e sabbiosi siano caratterizzati da valori di velocità media delle inferiori ai 200m/s fino a circa 2m da p.c. Successivamente per la presenza di litologie più

consistenti, quali le ghiaie in matrice sabbiosa e le sabbie, nell'intervallo stratigrafico compreso tra 2÷8m da p.c. si ha un netto aumento della velocità delle onde S con un valore di $V_s=450\text{m/s}$.

In corrispondenza dell'ultima porzione della frazione sabbiosa e per la successiva aliquota delle ghiaie in matrice sabbiosa, alla profondità compresa tra 8÷13m da p.c., è stata rilevata una marcata inversione di velocità delle onde di taglio che diminuisce da $V_s=450\text{m/s}$ ad un valore di $V_s=330\text{m/s}$.

A partire da circa 13 m da p.c., la velocità delle onde S assume un *trend* positivo crescente con valori che passano prima a 600m/s fino a 43m da p.c. e poi a 650m/s fino a 93m da p.c.

In accordo con quanto rilevato dalle indagini precedenti eseguite al contorno del sito è stato ipotizzato un *bedrock* sismico di poco inferiore ai 100m da p.c. che ha permesso di individuare secondo le Tabelle della Delibera della Regione Emilia-Romagna 112/2007 i fattori di amplificazione del sito (P.G.A. e Intensità di Housner).

La valutazione delle possibili pericolosità sismiche del sito ha escluso amplificazioni del segnale per caratteristiche topografiche in quanto l'area è pianeggiante e priva di qualsiasi acclività.

Tramite le misure di HVSR, è stata messa in evidenza una amplificazione significativa del moto del suolo per risonanza stratigrafica nel *range* di frequenza tra 20÷30Hz con un picco del rapporto H/V a circa 24Hz.

Per quanto riguarda la verifica della potenziale liquefazione dei terreni granulari, dalla cartografia risulta come la zona d'indagine ricada all'interno di un terrazzo fluviale non connesso al sistema di circolazione idrica del Torrente Idice.

I sedimenti sabbiosi e ghiaiosi sono quindi da considerare insaturi con una soggiacenza della falda nell'area maggiore di 20m da p.c. per tutto l'anno idrologico; pertanto tali terreni sono da considerare non liquefacibili.

Alla luce di quanto emerso si ritiene l'area in oggetto idonea all'edificazione in quanto non sono state riscontrate particolari pericolosità sismiche.

Sasso Marconi (BO), maggio 2014



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
(ai sensi del D.M.14-01-08 e della Deliberazione
dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna
n.112 del 02/05/2007)
- Analisi di II livello di approfondimento -

ALLEGATO

- FOTO ESECUZIONE INDAGINI IN SITO;
- REPORT INDAGINE GEOFISICA;
- INDAGINI GEOFISICHE PREGRESSE ESEGUITE AL CONTORNO DEL SITO.

Sasso Marconi (BO), maggio 2014

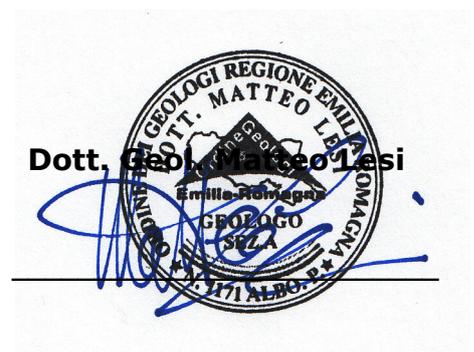




FOTO 1 – ESECUZIONE INDAGINE GEOFISICA ATTIVA MASW.



FOTO 2 – ESECUZIONE INDAGINE GEOFISICA PASSIVA HVSR1.



FOTO 3 – ESECUZIONE INDAGINE GEOFISICA PASSIVA HVSR2.

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA

Determinazione della categoria di suolo di fondazione eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio S entro 30 m di profondità (V_{s30}) dei terreni costituenti l'area sita in via Palazzetti.



GEOTEAS SRL
Via della Tecnica 57/A4
40068 San Lazzaro di Savena (BO)
Tel 0516255377 - Cell 349 7846581
Fax 0514998378
E-mail geotea.srl@database.it



Committente: LESI GEOL. MATTEO

Dott. Geol. Stefano Maggi

Data indagine 17/03/2014
Commessa 14.045

MOD PROD06 B REV01



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSr per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Palazzetti nel comune di San Lazzaro di Savena (BO).

5 RISULTATI INDAGINE

5.1 TECNICA IN ARRAY

Strumentazione utilizzata..... Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz)..... 12
Spaziatura tra i geofoni..... 3.00 m
Frequenza di campionamento..... 4.000 Hz (MASW) – 250 Hz (Re.Mi.)
Lunghezza traccia acquisita..... 1 sec (MASW) – 64 sec (Re.Mi.)
Sorgente..... mazza (10 Kg) e rumore ambientale

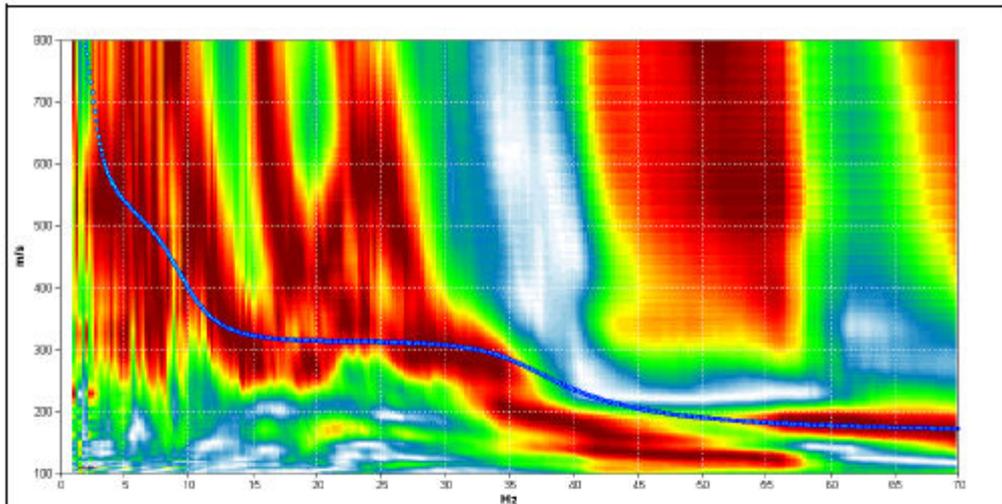


Figura 3 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW-Re.Mi. mediante sismografo digitale Dolang. In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.MI. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Palazzetti nel comune di San Lazzaro di Savena (BO).

5.2 TECNICA HVSR

Strumento: TROMINO MODELLO ENGY

Data registrazione: 05/02/14

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

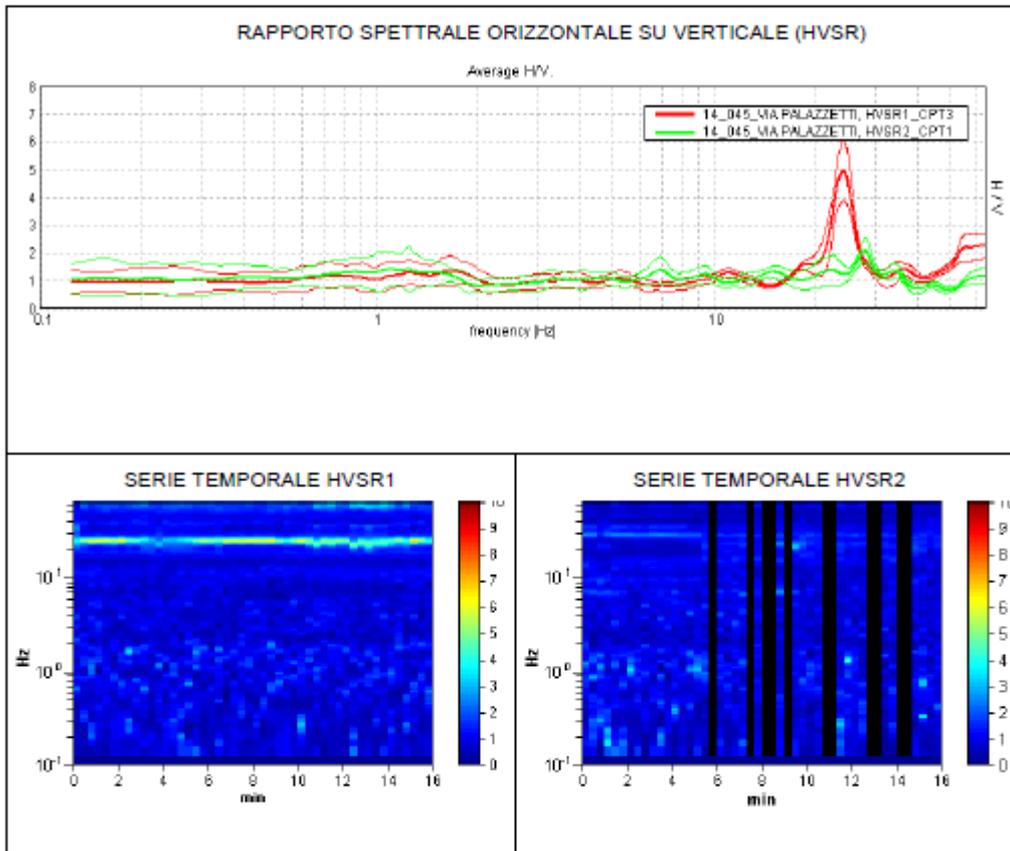


Figura 4 - Curva H/V (HVSR) registrata nel sito in esame e serie temporale considerata nell'analisi.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.MI. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Palazzetti nel comune di San Lazzaro di Savena (BO).

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR1

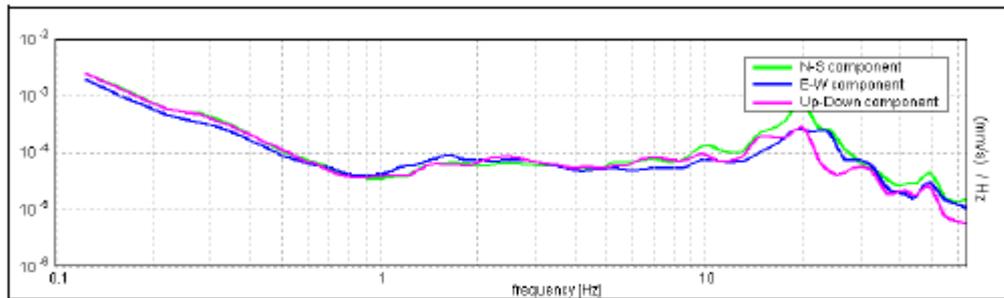


Figura 5 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI HVSR2

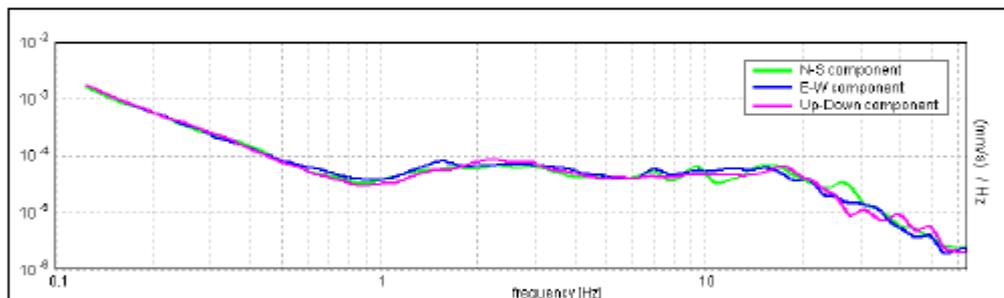


Figura 6 - spettri delle 3 componenti del moto in velocità registrate nel sito

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

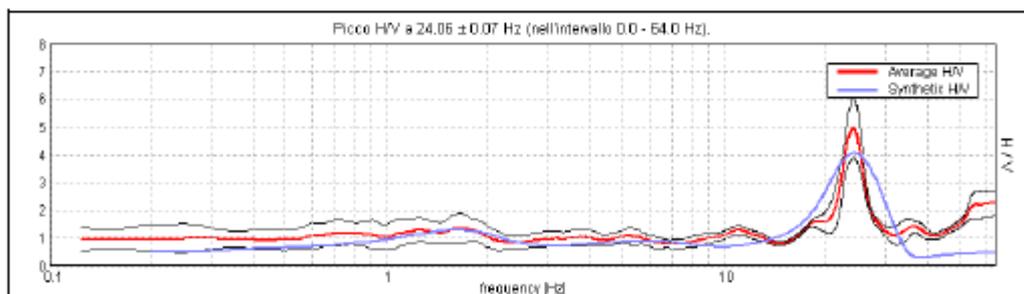


Figura 7 - confronto tra curva HVSR1 sperimentale registrata nel sito (scelta per il fit congiunto con prova MASW-Re.MI.) e curva teorica (blu) relativa al modello di sottosuolo proposto per il sito.



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.MI. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in Via Palazzetti nel comune di San Lazzaro di Savena (BO).

6 MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO PER IL SITO

Sulla base dei risultati ottenuti e dell'interpretazione dei dati acquisiti il modello di sottosuolo proposto per il sito in studio, in termini di profilo verticale di V_s , è il seguente (il modello è stato ottenuto mediante fit congiunto tra prova **MASW-Re.Mi.** e misura **HVSR1**):

Profondità base strato (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)
2.00	2.00	180
8.00	6.00	450
13.00	5.00	330
43.00	30.00	600
93.00	50.00	650
inf.	inf.	1000

Tabella 1 – Modello di sottosuolo proposto per il sito

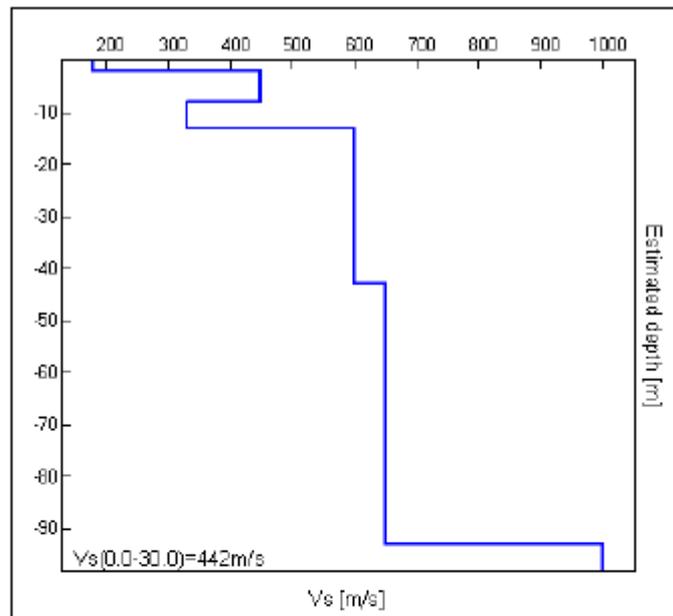


Figura 8 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica MASW-Re.MI. e tecnica HVSR



Indagine geofisica effettuata mediante tecnica MASW-Re.Mi. e HVSR per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dell'area sita in via Palazzetti nel comune di San Lazzaro di Savena (BO).

7 CONCLUSIONI

L'analisi congiunta MASW-Re.Mi.-HVSR ha permesso sia di ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S nel sito in esame, sia di individuare la presenza di contrasti di impedenza-rigidezza nel sottosuolo medesimo.

Vs30 [m/s] da quota piano campagna su cui è stato eseguito il profilo.....442

Nei primi 30 m da p.c., i terreni presenti in sito sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di terreni di medio alta consistenza (es: ghiaie in matrice).

Le curve HVSR ottenute sperimentalmente, per frequenze < 20 Hz, sono del tutto confrontabili tra loro e caratterizzate da lievi irregolarità e deviazioni alla planarità legate a stratificazioni a basso contrasto d'impedenza nel sottosuolo.

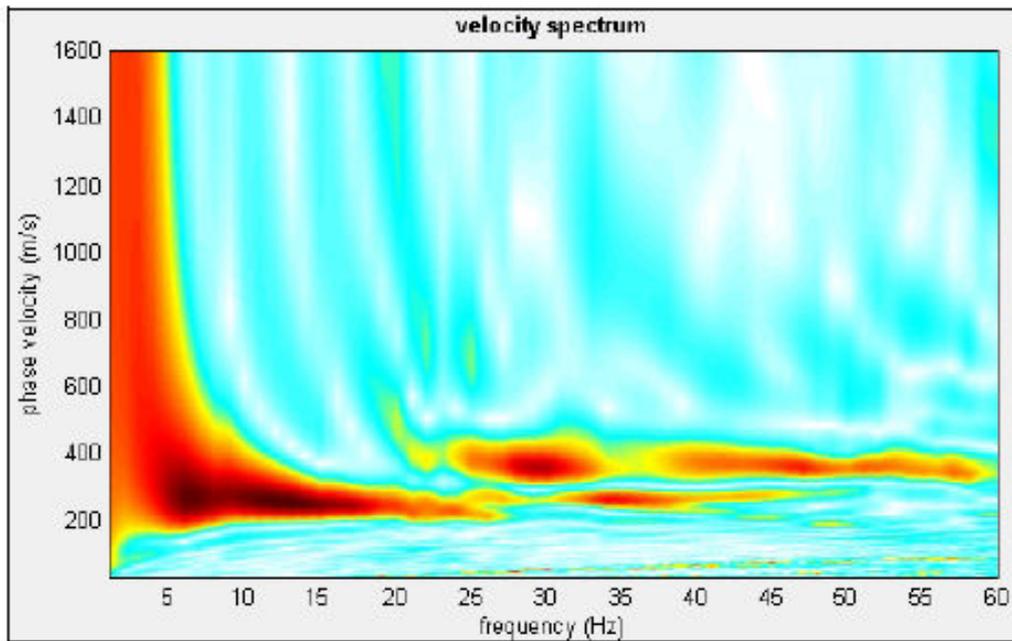
Per frequenze comprese tra 20 e 30 Hz è invece presente in HVSR1 una significativa amplificazione locale del moto del suolo per risonanza stratigrafica a contrasto d'impedenza molto alto con picco H/V a circa 24 Hz.

In HVSR2, l'amplificazione locale registrata in HVSR1 si osserva circa nello stesso intervallo di frequenza, tuttavia il picco H/V è notevolmente meno ampio.

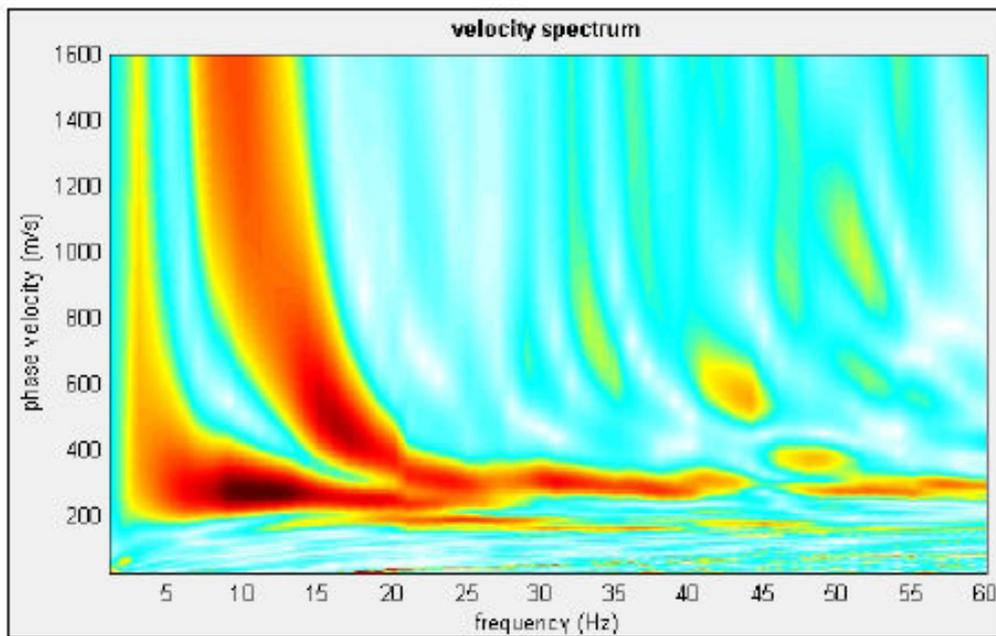
La normativa applicata nel presente lavoro è il DM 14 gennaio 2008.

San Lazzaro di Savena, 31/03/2014



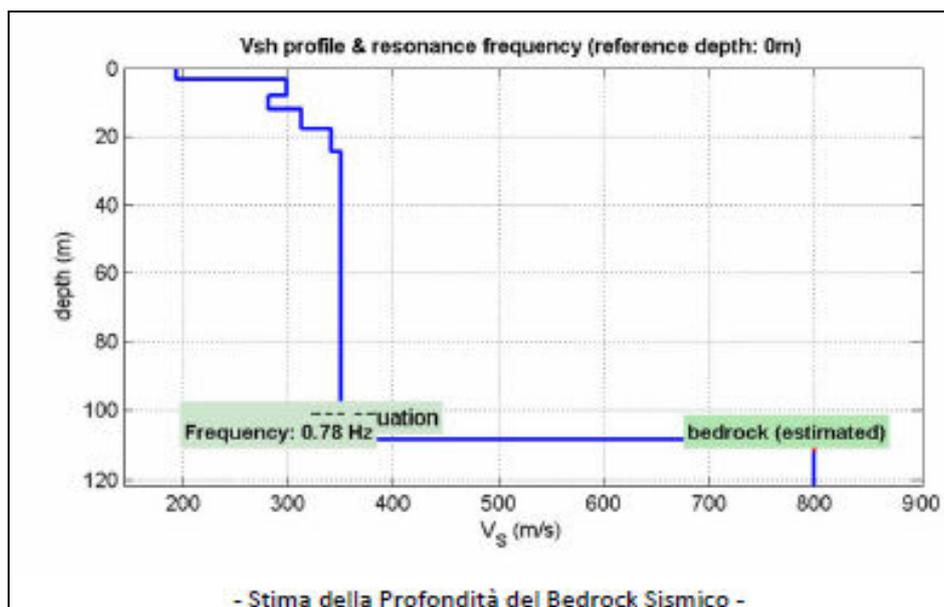
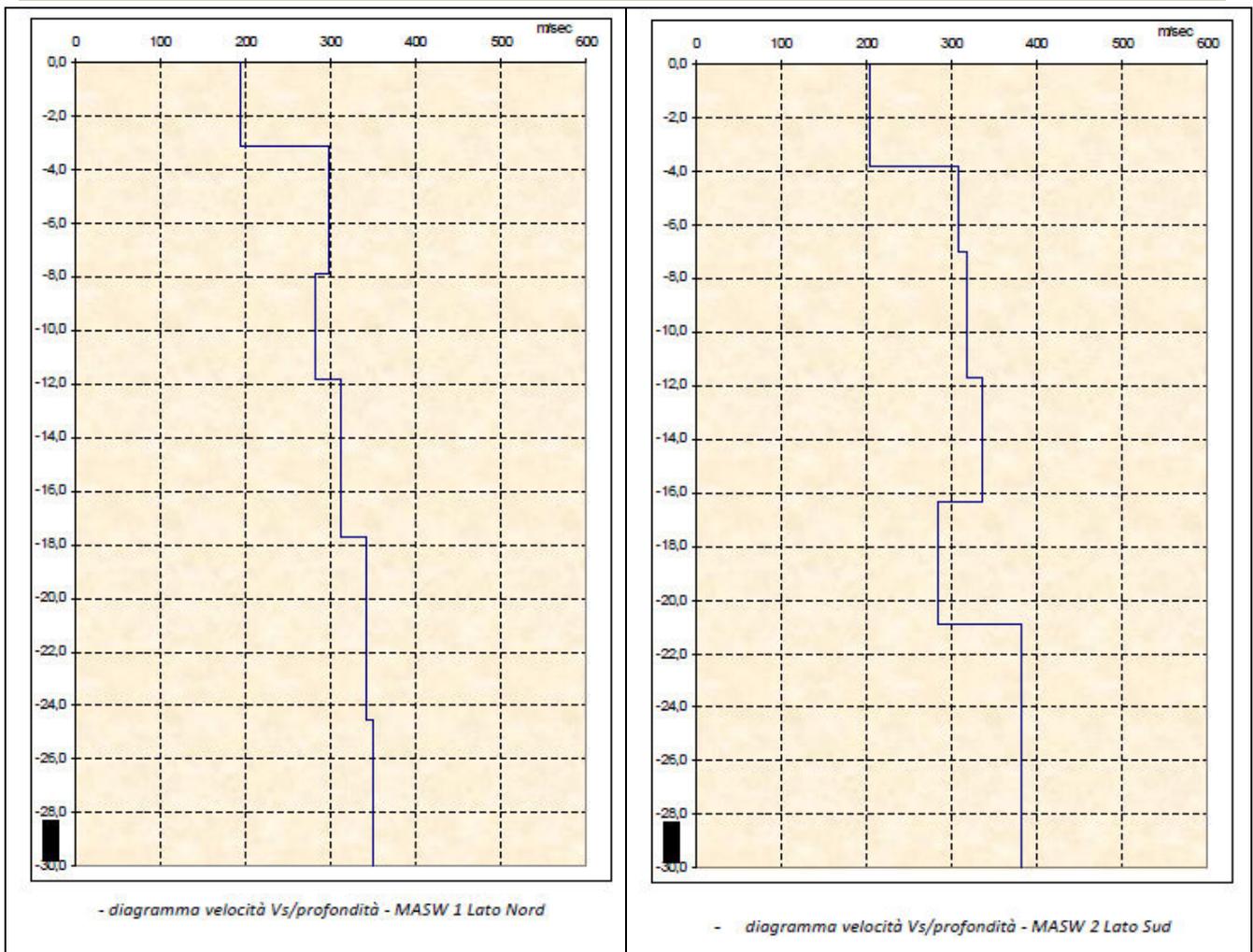


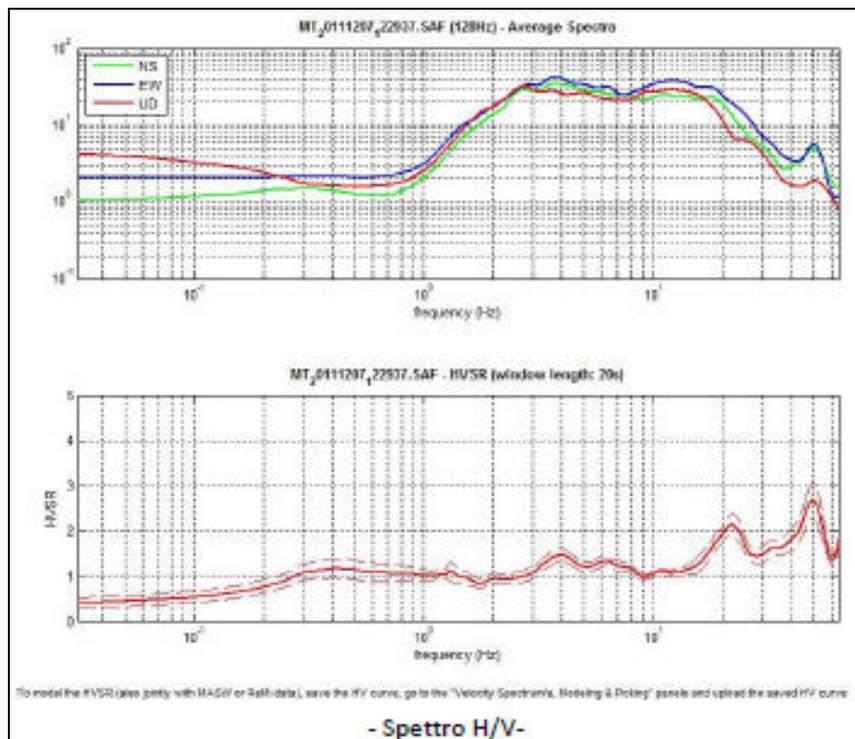
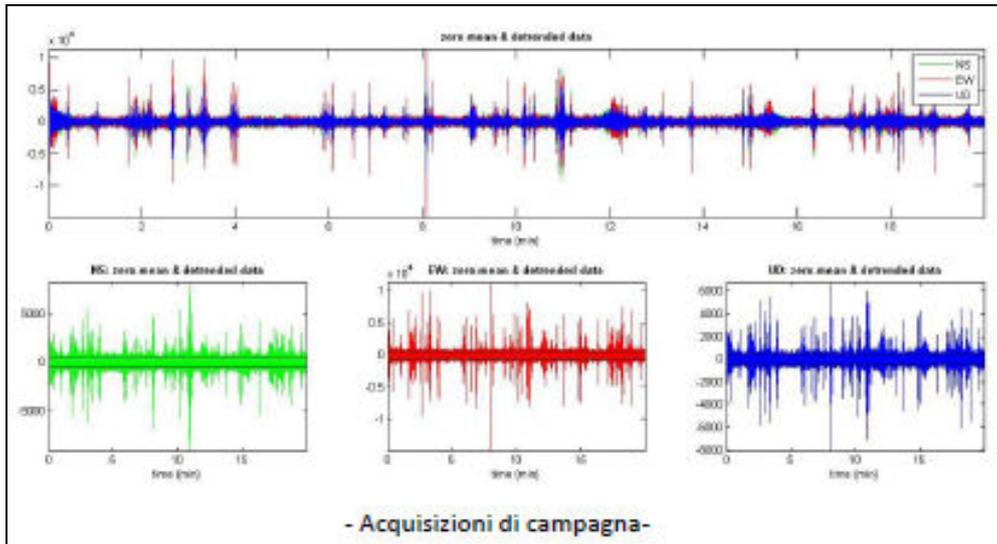
-diagramma della curva di dispersione- MASW 1



-diagramma della curva di dispersione- MASW 2 Lato Sud

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna





CONCLUSIONI

Su incarico della Finda Srl, con sede in via Rubbiani 6/2 a Bologna, nel periodo marzo -maggio 2014 sono state eseguite le seguenti attività:

- esecuzione di indagini geologiche e geofisiche in sito e prove di laboratorio geotecnico per un terreno di proprietà della Committenza, ubicato in via Palazzetti nel Comune di San Lazzaro di Savena (BO).;
- acquisizione ed analisi dei dati, verifica delle pericolosità locali e redazione della Relazione Geologica;
- analisi del II livello di approfondimento e redazione della Relazione sulla modellazione sismica.

Tale area, secondo la cartografia del PSC del Comune di San Lazzaro di Savena, rientra nell'Ambito Specializzato Produttivo di rilievo Comunale da riqualificare (ASP.C.r); per poter essere sottoposta alla procedura di approvazione del Piano Urbanistico Attuativo (PUA) e diventare fruibile per l'eventuale costruzione di edifici, deve essere preliminarmente caratterizzata dal punto di vista geologico e sismico.

Ad oggi non è ancora stato presentato un progetto definitivo della zona, ma dalle informazioni e planimetrie preliminari ricevute dalla Committenza si prevede di utilizzare l'area per la costruzione di strutture da adibire ad attività produttive/commerciali/terziarie oltre che a viabilità e parcheggi accessori.

Lo studio dei Piani Normativi Sovraordinati (PTCP, PSAI e PSC) non ha fatto emergere particolari criticità e/o pericolosità geologiche per l'area di riferimento ad eccezione di una possibile amplificazione del segnale sismico per caratteristiche stratigrafiche.

L'analisi delle indagini precedenti eseguite intorno al sito in oggetto hanno permesso di fornire un primo inquadramento dell'area.

Le indagini geologiche, geofisiche e quelle di laboratorio geotecnico hanno consentito di ricostruire i rispettivi modelli geologico e sismico del sottosuolo locale.

Il modello geologico spinto fino a 30m da p.c. è riportato in Tabella 1, in cui per ogni Unità Litologica individuata sono riportati i principali parametri fisico-meccanici in forma disaggregata. In Tabella 2 si riportano invece le informazioni salienti ricavate dalla modellazione sismica.

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 1 – Modello geologico dell'area d'indagine e relativi parametri fisico meccanici restituiti in forma disaggregata.

UNITA'	PROFONDITA' (m da p.c.)	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA (Schmertmann, 1978)	PARAMETRI FISICO-MECCANICI IN FORMA DISAGGREGATA							MODULO EDOMETRICO (E_{ED} , kg/cm ²)
			PESO DELL'UNITA' DI VOLUME NATURALE (γ , kN/m ³)	PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SATURO (γ_{sat} , kN/m ³)	COESIONE EFFICACE (c' , kPa)	COESIONE NON DRENATA (c_u , kPa)	ANGOLO DI ATTRITO INTERNO (ϕ' , °)	MODULO ELASTICO (E , kPa)	MODULO ELASTICO NON DRENATO (E_u , kg/cm ²)	
A	0.00÷0.30	Terreno vegetale	-	-	-	-	-	-	-	-
B	0.30÷2.50	Limo argilloso a tratti limo sabbioso marrone chiaro consistente	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷96 ⁽³⁾ ; 92÷300 ⁽⁴⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400÷10000 ⁽⁶⁾	CPT1: 492÷906, valore medio: 716; CPT2: 714÷1166, valore medio: 900; CPT3: 978÷2097, valore medio: 1551	CPT1: 44÷48, valore medio: 45 (4413kPa); CPT2: 43÷60, valore medio: 51 (5001kPa) CPT3: 52÷112, valore medio: 83 (8139kPa)
			<i>Prove di laboratorio geotecnico eseguite sul campione CPT2-C1 (z=1.00÷1.60m da p.c.)</i> $\gamma=19.75\text{kN/m}^3$; $\gamma_d=15.93\text{kN/m}^3$; $w=23.99\%$ P.P.: 2.5-3.7kg/cm ² ; T.V.: >1kg/cm ² ; $c'=24.57\text{kPa}$; $\phi'=26.71^\circ$							
C	2.50÷4.50	Ghiaia da fine a grossolana sciolta in matrice sabbiosa	17.7÷20.0 ⁽¹⁾	18.9÷19.85 ⁽¹⁾	-	-	34÷36 ⁽⁵⁾	8000÷19500 ⁽⁶⁾	-	-
D	4.50÷9.50	Sabbia da fine a media sciolta marrone chiaro a tratti limosa	14.8÷16.8 ⁽¹⁾	15.3÷17.5 ⁽¹⁾	-	-	32÷34 ⁽⁵⁾ 36 ⁽⁷⁾	6700÷16000 ⁽⁶⁾	-	-
E	9.50÷13.40	Ghiaia da media a grossolana in matrice sabbiosa mediamente addensata	20.0÷21.4 ⁽¹⁾	18.85÷20.8 ⁽¹⁾	-	-	36÷37 ⁽⁵⁾ 46 ⁽⁷⁾	19500÷59800 ⁽⁶⁾	-	-
F	13.40÷14.30	Limo argilloso debolmente sabbioso mediamente consistente	17.0÷18.0 ⁽¹⁾	17.5÷18.5 ⁽¹⁾	13 ⁽²⁾	25÷50 ⁽³⁾	31÷32 ⁽⁵⁾	2700÷5400 ⁽⁶⁾	-	-
G	14.30÷16.40	Sabbia da fine a grossolana e ghiaia grossolana con ciottoli sparsi	16.0÷18.1 ⁽¹⁾	16.5÷18.5 ⁽¹⁾	-	-	32-34 ⁽⁵⁾	16600÷51000 ⁽⁶⁾	-	-
H	16.40÷18.00	Limo argilloso ed argilla limosa consistenti	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷95 ⁽³⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400-10000 ⁽⁶⁾	-	-
I	18.00÷19.80	Ghiaia grossolana e ciottoli in matrice sabbiosa	20.5÷21.5 ⁽¹⁾	21.2÷22.25 ⁽¹⁾	-	-	36÷38 ⁽⁵⁾ 42 ⁽⁷⁾	19500÷59800 ⁽⁶⁾	-	-
L	19.80÷22.00	Limo argilloso marrone chiaro e grigio consistente	18.5÷19.7 ⁽¹⁾	19.0÷20.2 ⁽¹⁾	26 ⁽²⁾	50÷95 ⁽³⁾	32÷33 ⁽⁵⁾	5400-10000 ⁽⁶⁾	-	-
M	22.00÷30.00	Sabbia da fine a grossolana sciolta	16.0÷18.1 ⁽¹⁾	16.5÷18.5 ⁽¹⁾	-	-	32-34 ⁽⁵⁾	16600÷51000 ⁽⁶⁾	-	-

Livello di falda misurato al termine del sondaggio S1: 22m da p.c.

N.B.

Per i riferimenti Bibliografici si veda la Tabella 8.1 della Relazione Geologica

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
 n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

Tabella 2 – Modello sismico dell'area d'indagine (Analisi del II livello di approfondimento).

UBICAZIONE SITO D'INDAGINE (COORDINATE ED50)	
<i>Latitudine: 44.454521°</i>	<i>Longitudine: 11.428054°</i>
MODELLO SISMICO	
Velocità media ponderata delle onde di taglio S nei primi 30m	$V_{s,30}=442\text{m/s}$
Categoria di sottosuolo secondo l'approccio semplificato del D.M. 14-01-08	Categoria di Sottosuolo B
Categoria topografica	T1
Amplificazione significativa del moto del suolo per risonanza stratigrafica	20÷30Hz
Picco H/V	24Hz
Profondità stimata <i>bed-rock</i> sismico	<100m da p.c.
Ambito del sito in relazione all'Allegato A2 della Delibera Regione Emilia Romagna n.112/2007	<u>PIANURA1</u> profilo stratigrafico costituito da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco profondo (<100 m da p.c.)
Fattore di Amplificazione <i>Peak Ground Acceleration</i> (F.A.-P.G.A.)	1.5
Fattore di Amplificazione Intensità di Housner (F.A.-SI) $0.1 < T_0 < 0.5\text{s}$	1.6
Fattore di Amplificazione Intensità di Housner (F.A.-SI) $0.5 < T_0 < 1\text{s}$	1.7

Dal punto di vista geologico l'area è caratterizzata da sedimenti quaternari della conoide alluvionale del Torrente Idice in cui è stata riscontrata l'alternanza di unità litologiche fini limoso argillose e sabbiose a comportamento meccanico coesivo o incoerente-coesivo, alternate ad unità litologiche grossolane sabbiose e ghiaiose in matrice sabbiosa a comportamento incoerente.

Le litologie a grana fina sono caratterizzate da una media-elevata consistenza, quelle a grana grossa da un medio-elevato stato di addensamento.

Entrambe le tipologie individuate sono caratterizzate da buone caratteristiche fisico meccaniche; dal modello geologico risulta un aumento degli spessori dei litotipi granulari rispetto a quelli fini con l'aumentare della profondità.

La maggior parte dei terreni attraversati è risultata essere insatura poiché la soggiacenza rilevata all'interno del foro del sondaggio S1 eseguito si è attestata al termine della perforazione a 22m da p.c.

Per quanto riguarda il modello sismico dell'area, in generale nei primi 30 m da p.c., l'elaborazione dei dati ottenuti dallo stendimento MASW e dalle misure HVSR1 e

HVSR2 ha evidenziato come i terreni presenti in sito siano caratterizzati da valori di velocità delle onde S (V_s) caratteristici di terreni da media consistenza (limi argillosi/sabbiosi) a medio alta consistenza (ghiaie in matrice)

La media ponderata della velocità delle onde di taglio S nei primi 30 m da p.c. ha restituito un valore pari a $V_{s,30}=442m/s$; secondo l'approccio semplificato tali terreni ricadono all'interno della Categoria di sottosuolo B.

In base alla ricostruzione della profondità del bed-rock sismico stimato a circa 100m da p.c. è stato possibile mediante le Tabelle dell'Allegato A2 della Delibera della Regione Emilia-Romagna 112/2007 comprendere che l'area ricade nell'Ambito di Pianura 1 e successivamente ricavare i fattori di amplificazione PGA e l'intensità di Housner, in particolare:

- F.A. P.G.A.: 1.5;
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER $0.1 < T_0 < 0.5s$: 1.6;
- F.A. INTENSITA' SPETTRALE DI HOUSNER $0.5 < T_0 < 1s$: 1.7.

Da segnalare come l'elaborazione dei dati ricavati dall'indagine geofisica HVSR1 ha evidenziato una amplificazione significativa del moto del suolo per risonanza stratigrafica nel range di frequenza tra 20÷30Hz con un picco del rapporto H/V a circa 24Hz.

L'ambito in studio è situato nelle immediate vicinanze del centro abitato di San Lazzaro; esso appartiene all'alta pianura bolognese, costituita da superfici topografiche sub-pianeggianti, e pertanto non si verificheranno effetti di amplificazione topografica in caso di sisma.

Le indagini effettuate in sito e la cartografia dei Piani Normativi Sovraordinati hanno rivelato come fino ad oltre 20m da p.c. i terreni granulari siano insaturi per tutto l'anno idrologico; si escludono pertanto in caso di sisma fenomeni di liquefazione di tali terreni.

Una volta decise da parte del Progettista/Strutturista le/la tipologie/a di edifici/o da costruire, sarà necessario verificare che i carichi di tali/e strutture/a agenti/e sul terreno di fondazione siano compatibili con il medesimo.

Le verifiche delle prestazioni attese in campo statico e sismico dovranno essere eseguite e riportate nell'apposita Relazione Geotecnica da redigere ai sensi del D.M. 14-01-08 da professionista abilitato.

Per definire in maniera più dettagliata il modello geotecnico del sottosuolo su cui insisteranno le/la strutture/a progettate/te, si consiglia di svolgere preliminarmente

- Dott. Geol. Matteo Lesi -
Geologia Ambientale Geotecnica Sismica ed Idrogeologia
n°1171 Ordine dei Geologi dell'Emilia-Romagna

alla redazione delle suddetta Relazione Geotecnica, delle ulteriori indagini geologiche in sito ed in laboratorio nelle zone dell'area d'indagine ricadenti all'interno dell'impronta dei/i sistemi/a fondali/e progettati/o.

Allo stato attuale delle conoscenze, in base ai risultati ottenuti ed in relazione alle considerazioni fatte, si ritiene che la porzione del comparto ASP.C.r studiata nel presente lavoro sia idonea all'edificazione.

Sasso Marconi (BO), maggio 2014

